

**АЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри
Володимир ЄРЕМЕНКО

« ____ » _____ 2020р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні
технології екологічної безпеки»**

зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

**на тему: «Підвищення точності вимірювання геометричних розмірів
мікрометричного діапазону шляхом вдосконалення вузла освітлення
оптико-електронної системи»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПН-91мп

Драч Юрій Олександрович _____

Керівник:

Доцент, кандидат технічних наук.

Маркіна Ольга Миколаївна _____

Консультант з «Розроблення стартап-проекту»:

Доцент, доктор економічних наук.

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант з нормоконтролю:

Доцент, кандидат технічних наук.

Божко Костянтин Михайлович _____

Рецензент:

Старший викладач, кандидат технічних наук

Богдан Галина Анатоліївна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ - 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
 Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
 Освітньо-професійна програма – Інформаційні вимірювальні технології
 екологічної безпеки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о завідувача кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Драчу Юрію Олександровичу

1. Тема дисертації «Підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону шляхом вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної системи» науковий керівник Маркіна Ольга Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2020 року №_____.

2. Термін подання студентом дисертації «7» грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження: пристрій формування сигналу телевізійного пірметра.

4. Вихідні дані: показники точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону.

5. Перелік питань, які мають бути досліджені

5.1 Теоретичні та експериментальні дослідження:

5.1.1. Провести аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи мікрометричних геометричних розмірів, її складових вузлів та особливостей налаштування.

5.1.2. Провести аналітичне дослідження джерел освітлення, їх світло-технічних характеристик.

5.1.3. Провести аналітичне дослідження відомих методів визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу.

5.1.4. Розробити лабораторний макет системи для визначення геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні.

5.1.5. Виконати вибір нового джерела освітлення, вдосконалити вимірювальну систему. Провести для нього експериментальні дослідження з визначення світлотехнічних характеристик.

5.1.6 Виконати експериментальні дослідження з визначення геометричних розмірів еталонного зразка лінійного розміру при встановленні нового джерела освітлення в оптико-електронну вимірювальну систему.

5.1.7. Порівняти отримані результати точності вимірювання геометричних розмірів з базовим та новим джерелом освітлення оптико-електронній вимірювальній системі.

5.1.8 Висновки. Презентація.

5.1.9 Стартап-проект за темою дисертації.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу на захист дисертації.

6.1 Таблиці з результатами аналітичного дослідження джерел освітлення, їх світло-технічних характеристик.

6.2 Результати дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи мікрометричних геометричних розмірів, її складових вузлів та особливостей налаштування.

6.3 Результати експериментальних світлотехнічних характеристик нового джерела освітлення.

6.4. Результати точності вимірювання геометричних розмірів з базовим та новим джерелом освітлення оптико-електронній вимірювальній системі.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

7.1 Одна теза доповіді на міжнародних конференціях в Україні або за кордоном.

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ, ЇЇ СКЛАДОВИХ ВУЗЛІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ НАЛАШТУВАННЯ			
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СВІТЛО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ ПОМИЛКА! ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.			
РОЗДІЛ 3 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ ОПТИКО- ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ			
РОЗДІЛ 4 ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВІТЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП 51			
ПОМИЛКА! ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.			
ПОМИЛКА! ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.	Доцент, д.е.н. Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання

«10» вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Провести аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи мікрометричних геометричних розмірів, її складових вузлів та особливостей налаштування.	05.10.2020 р.	
2	Провести аналітичне дослідження джерел освітлення, їх світло-технічних характеристик.	14.10.2020 р.	
3	Провести аналітичне дослідження відомих методів визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу.	18.10.2020 р.	
4	Розробити лабораторний макет системи для визначення геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні.	20.10.2020 р.	
5	Виконати вибір нового джерела освітлення, вдосконалити вимірювальну систему. Провести для нього експериментальні дослідження з визначення світлотехнічних характеристик.	20.10.2020 р.	
6	Виконати експериментальні дослідження з визначення геометричних розмірів еталонного зразка лінійного розміру при встановленні нового джерела освітлення в оптико-електронну вимірювальну систему.	27.10.2020 р.	
7	Порівняти отримані результати точності вимірювання геометричних розмірів з базовим та новим джерелом освітлення оптико-електронній вимірювальній системі.	15.11.2020 р.	
8	Висновки.	25.11.2020 р.	
9	Презентація.	25.11.2020 р.	
10	Стартап-проект за темою дисертації.	30.11.2020 р.	

Студент

Юрій ДРАЧ

Науковий керівник дисертації

Ольга МАРКІНА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить пояснювальну записку на 105 сторінках формату А4, 14 ілюстрацій, 7 таблиць, 17 літературних джерела.

В даній магістерській дисертаційній роботі проведено аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи, її складових вузлів та особливостей налаштування. З самої теми дисертації «Підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону шляхом вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної системи» видно, що шляхом підвищення точності вимірювання геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні є вдосконалення джерела освітлення.

Ми визначили основні відомі методи визначення світло-технічних характеристик джерел освітлення у другому розділі дисертації. В розділі нами проаналізовано методи «інтегруючої сфери» та «гоніофотометричний» для визначення світлового потоку освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу. Звісно, ми розглядали методи світового досвіду визначення цих характеристик та вітчизняного досвіду, адже ми планували проведення експериментальних досліджень власного джерела випромінювання, що відповідало б світовому рівню.

У третьому розділі ми навели приклади трьох джерел освітлення з зазначенням світлотехнічних характеристик. Ми зазначили спектральні характеристики для кожного джерела освітлення.

У четвертому розділі ми навели матеріали, щодо побудови нами оптико-електронної вимірювальної системи. Свою вимірювальну систему для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону, ми спроектували на базі оптичного мікроскопу, телевізійної камери, що закріплювалась до тіла оптичного мікроскопу з застосуванням перехідників (тубусів). Отримане, CCD матрицею телевізійної камери, випромінювання від об'єкту дослідження геометричних розмірів, надходило до персонального комп'ютеру з необхідним програмним забезпеченням, що дозволило нам за випромінюванням визначати розміри об'єкту або дефекту об'єкту. Хочемо

зазначити, що програмне забезпечення ми в магістерській дисертації не розробляли, а користувались готовим програмним продуктом. Адже такого завдання перед нами не стояло. Більшість наших зусиль було спрямовано на дослідження джерела освітлення. Проте, хочемо зазначити, що після отриманих результатів щодо дослідження світло-технічних характеристик нового джерела освітлення, ми провели ряд вимірювань геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні. Щоб порівняти точність вимірювання мікрометричних геометричних розмірів. Для цього ми проводили вимірювання на еталонному зразку лінійних геометричних розмірів ГОСТ 15114-78 Даний комплект мір використовують встановлення роздільної здатності телескопічних систем, кутові геометричні розміри ми не вимірювали.

Хочемо зазначити, що ми обрали у якості нового джерела освітлення світлодіодну лампу та порівнювали отримані результати світлотехнічних характеристик з джерелом, що є стандартним (базовим) для моделі оптичного мікроскопу. Отже нами проведено ряд експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик найпопулярнішого джерела освітлення - світлодіодної ламп. Аналіз результатів дослідження показав, що перед тим як застосовувати лампу масового виробництва виготовлену за будь-якою технологією у вимірювальній системі (оптико-електронна система) необхідно після спеціалізованого дослідження у центрах випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем. Адже зазначені світлотехнічні характеристики від виробників не відповідають тим, що визначено дослідним шляхом.

Хоча характеристики світлодіодної лампи мали не суттєві відмінності на відміну від галогенної лампи. Вплив на точність вимірювання оптико-електронної вимірювальної системи зазначених джерел освітлення, ми визначили з застосуванням штрихової міри абсолютного контрасту та зробили висновок, що ефективність застосування світлодіодного освітлення є вищою у

порівнянні з галогенним освітленням у чотири рази при побудові вимірювальної системи за тим, що описується в дисертації.

Додаткове дослідження, спрямоване визначенню різниці точності вимірювання з застосуванням різних ламп, дозволило визначити як технологія виготовлення джерела освітлення впливає на точність вимірювальної системи. Для цього спроектовано оптико-електронну вимірювальну систему, за основний вузол якої взято оптичний мікроскоп у поєднанні з телевізійною камерою на ПЗЗ-матриці та розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. Об'єктом вимірювання системи обрано комплект штрихових мір абсолютного контрасту ГОСТ15114 – 78, що використовують у якості тестових об'єктів. Штрихова міра представляє собою скляну пластину з нанесеними на неї зображенням, що складається з розташованих за певною системою світлих штрихів на темному фоні, які відрізняються за шириною. Дослідження проводились на мірі № 3, поле 13 з комплекту мір ГОСТ15114 – 78 та отримано наступні результати вимірювання з довірчою ймовірністю $P=0,98$ при кількості вимірювань 100: точність вимірювання системи з галогенною лампою становить $20 \pm 0,96 \text{ мкм}$, а для світлодіодної лампи $20 \pm 0,23 \text{ мкм}$. Тобто ефективність світлодіодного джерела освітлення оптико-електронної вимірювальної системи є в чотири рази кращою ніж для галогенного освітлення.

Ключові слова: джерело освітлення, оптико-електронна вимірювальна система, світлотехнічні характеристики, галогенна лампа, світлодіодна лампа.

ABSTRACT

The master's dissertation contains an explanatory note on 105 A4 pages, 14 illustrations, 7 tables, 17 literature sources.

In this master's dissertation an analytical study of the structure of the optoelectronic measuring system, its components and features of the setting. From the topic of the dissertation "Improving the accuracy of measuring the geometric dimensions of the micrometric range by improving the lighting unit of the optoelectronic system" it is clear that by improving the accuracy of measuring geometric dimensions in the micrometric range is improving the light source.

We have identified the main known methods for determining the lighting characteristics of light sources in the second section of the dissertation. In this section we analyze the methods of "integrating sphere" and "goniophometric" to determine the luminous flux of lighting systems with different types of light distribution. Of course, we considered the methods of world experience in determining these characteristics and domestic experience, because we planned to conduct experimental studies of our own radiation source, which would correspond to the world level.

In the third section, we gave examples of three light sources with lighting characteristics. We noted the spectral characteristics for each light source.

In the fourth section, we presented materials on the construction of our optoelectronic measuring system. We designed our measuring system to determine the geometric dimensions of the micrometric range on the basis of an optical microscope, a television camera, which was attached to the body of the optical microscope using adapters (tubes). The radiation received from the geometric dimensions object by the CCD matrix of the television camera was sent to a personal computer with the necessary software, which allowed us to determine the dimensions of the object or the defect of the object by the radiation. We would like to note that we did not develop the software in the master's dissertation, but used the finished software product. After all, we did not face such a task. Most of our efforts have been focused on researching the light source. However, we would like to note

that after the results obtained on the study of lighting characteristics of the new light source, we conducted a series of measurements of geometric dimensions in the micrometric range. To compare the accuracy of measuring micrometric geometric dimensions. To do this, we performed measurements on a reference sample of linear geometric dimensions GOST 15114-78 This set of measures uses the establishment of the resolution of telescopic systems, we did not measure the angular geometric dimensions.

We would like to note that we chose an LED lamp as a new light source and compared the obtained results of lighting characteristics with a source that is standard (basic) for the optical microscope model. Therefore, we conducted a number of experimental studies of the lighting characteristics of the most popular light source - LED lamps. Analysis of the results of the study showed that before using a mass-produced lamp made by any technology in a measuring system (optoelectronic system) it is necessary after a specialized study in the centers of testing and diagnostics of superconducting light sources and lighting systems. After all, these lighting characteristics from the manufacturers do not correspond to those determined experimentally.

Although the characteristics of the LED lamp were not significantly different from the halogen lamp. The impact on the measurement accuracy of the optoelectronic measuring system of these light sources, we determined using a bar measure of absolute contrast and concluded that the efficiency of LED lighting is four times higher than halogen lighting when building a measuring system as described in dissertation.

Additional research aimed at determining the difference in measurement accuracy using different lamps, allowed to determine how the technology of manufacturing a light source affects the accuracy of the measuring system. For this purpose, an optoelectronic measuring system was designed, the main unit of which is an optical microscope in combination with a television camera on a CCD array and specialized software has been developed. The object of measurement of the system is a set of bar measures of absolute contrast GOST15114-78, which are used

as test objects. The dashed measure is a glass plate with an image printed on it, consisting of light strokes arranged on a certain system on a dark background, which differ in width. The studies were performed on measure № 3, field 13 from the set of measures GOST15114-78 and the following measurement results were obtained with a confidence interval $P = 0.98$ at the number of measurements 100: the measurement accuracy of the system with a halogen lamp is $20 \pm 0.96 \text{ } \mu\text{m}$, and for LED lamp $20 \pm 0.23 \text{ } \mu\text{m}$. That is, the efficiency of the LED light source of the optoelectronic measuring system is four times better than for halogen lighting.

Keywords: light source, optoelectronic measuring system, lighting characteristics, halogen lamp, LED lamp.

ABSTRAKCYJNY

Praca magisterska zawiera notę wyjaśniającą na 105 stronach A4, 14 ilustracjach, 7 tabelach, 17 źródłach literaturowych.

W pracy magisterskiej przeprowadzono analityczne studium budowy optoelektronicznego systemu pomiarowego, jego elementów składowych oraz cech oprawy. Z tematu rozprawy «Poprawa dokładności pomiaru wymiarów geometrycznych zakresu mikrometrycznego poprzez udoskonalenie jednostki oświetleniowej układu optoelektronicznego» wynika, że poprawiając dokładność pomiaru wymiarów geometrycznych w zakresie mikrometrycznym poprawia się źródło światła.

W drugiej części rozprawy zidentyfikowaliśmy główne znane metody określania charakterystyk świetlnych źródeł światła. W tej sekcji przeanalizujemy metody „kuli całkującej” i „goniofometrycznej” w celu określenia strumienia świetlnego systemów oświetleniowych o różnych typach rozsyłów światła. Oczywiście przy określaniu tych cech wzięliśmy pod uwagę metody doświadczenia światowego i doświadczenia domowe, ponieważ planowaliśmy przeprowadzić badania eksperymentalne własnego źródła promieniowania, które odpowiadałoby poziomowi światowemu.

W trzeciej sekcji podajemy przykłady trzech źródeł światła wraz z charakterystyką oświetlenia. Zanotowaliśmy charakterystykę widmową każdego źródła światła.

W czwartej części przedstawiliśmy materiały dotyczące budowy naszego optoelektronicznego systemu pomiarowego. Zaprojektowaliśmy nasz system pomiarowy do wyznaczania wymiarów geometrycznych zakresu mikrometrycznego na podstawie mikroskopu optycznego, kamery telewizyjnej, która została przymocowana do korpusu mikroskopu optycznego za pomocą adapterów (rurek). Promieniowanie otrzymane z macierzy CCD o wymiarach geometrycznych przez matrycę CCD kamery telewizyjnej zostało odebrane przez komputer osobisty z niezbędnym oprogramowaniem, które pozwoliło nam określić wymiary obiektu lub wady obiektu przez promieniowanie. Chcielibyśmy zauważyć, że nie tworzyliśmy

oprogramowania w pracy magisterskiej, ale korzystaliśmy z gotowego oprogramowania. W końcu nie stanęliśmy przed takim zadaniem. Większość naszych wysiłków skupiła się na badaniu źródła światła. Pragniemy jednak zwrócić uwagę, że po uzyskanych wynikach badań charakterystyk świetlnych nowego źródła światła, przeprowadziliśmy szereg pomiarów wymiarów geometrycznych w zakresie mikrometrycznym. Porównanie dokładności pomiaru mikrometrycznych wymiarów geometrycznych. W tym celu wykonaliśmy pomiary na próbce odniesienia o liniowych wymiarach geometrycznych GOST 15114-78 Ten zestaw miar wykorzystuje ustalenie rozdzielczości układów teleskopowych, nie mierzyliśmy kątowych wymiarów geometrycznych.

Zwracamy uwagę, że jako nowe źródło światła wybraliśmy lampę LED i porównaliśmy uzyskane wyniki charakterystyk świetlnych ze źródłem standardowym (podstawowym) dla modelu mikroskopu optycznego. Dlatego przeprowadziliśmy szereg badań eksperymentalnych charakterystyki oświetlenia najpopularniejszego źródła światła - lamp LED. Analiza wyników badań wykazała, że przed zastosowaniem w układzie pomiarowym (optoelektronicznym) lampy produkowanej seryjnie w dowolnej technologii konieczne jest przeprowadzenie specjalistycznych badań w ośrodkach badań i diagnostyki nadprzewodzących źródeł światła i systemów oświetleniowych. Wszakże te charakterystyki świetlne producentów nie odpowiadają tym określonym eksperymentalnie.

Chociaż właściwości lampy LED nie różniły się znacząco od lampy halogenowej. Wpływ na dokładność pomiaru optoelektronicznego układu pomiarowego tych źródeł światła, określiliśmy za pomocą kreskowej miary kontrastu bezwzględnego i stwierdziliśmy, że sprawność oświetlenia LED jest czterokrotnie większa niż oświetlenia halogenowego przy budowie układu pomiarowego opisanego w rozprawa.

Dodatkowe badania mające na celu określenie różnicy w dokładności pomiaru z użyciem różnych lamp, pozwoliły określić, jak technologia wykonania źródła światła wpływa na dokładność układu pomiarowego. W tym celu zaprojektowano optoelektroniczny układ pomiarowy, którego jednostką główną jest mikroskop

оптичний в поєднанні з камерою телевізійною на матриці CCD oraz opracowano specjalistyczne oprogramowanie. Przedmiotem pomiaru systemu jest zestaw mierników słupkowych o absolutnym kontraście GOST 15114 - 78, które służą jako obiekty testowe. Miara przerywaną jest szklana płytka z nadrukowanym na niej obrazem, składającym się z lekkich pociągnięć ułożonych w określonym układzie na ciemnym tle, które różnią się szerokością. Badania przeprowadzono na działaniu nr 3, pole 13 ze zbioru miar GOST 15114 - 78 i uzyskano następujące wyniki pomiarów z przedziałem ufności $P = 0,98$ przy liczbie pomiarów 100: Lampa LED $20 \pm 0,23 \mu\text{m}$. Oznacza to, że sprawność źródła światła LED optoelektronicznego układu pomiarowego jest czterokrotnie lepsza niż w przypadku oświetlenia halogenowego.

Słowa kluczowe: źródło światła, optoelektroniczny układ pomiarowy, charakterystyka oświetlenia, lampa halogenowa, lampa LED.

ЗМІСТ.....	14
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ, ЇЇ СКЛАДОВИХ ВУЗЛІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ НАЛАШТУВАННЯ.....	21
1.1 Випромінювання об'єкту та особливості проходження його крізь атмосферу.....	21
1.2 Закони випромінювання, на яких базується робота оптико-електронної системи.....	23
1.3 Оптико-електронна вимірювальна система	26
1.4 Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СВІТЛО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ	30
2.1 Метод «інтегруючої сфери» визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлорозподілу	30
2.2 Гоніофотометричний метод визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлорозподілу	31
2.3 Висновки до розділу 2.....	34
РОЗДІЛ 3 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ.....	36
3.1 Світлотехнічні характеристики джерел освітлення	36

3.2 Огляд джерел освітлення з зазначенням світлотехнічних характеристики	37
3.2.1 Джерело освітлення типу Econom Longer 100 W.....	37
3.1.2 Джерело освітлення типу ВАТРА СДЛ 127.....	40
3.1.3 Джерело освітлення типу GNL.....	43
3.3 Висновок до розділу 3	46
РОЗДІЛ 4 ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП.....	49
4.1 Дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні GO-2000 з реалізацією гоніофотометричного методу.....	49
4.2 Дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні типу GO-2000 з реалізацією методу інтегруючої сфери.....	51
4.3 Висновки до розділу 4	54
РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІЛОДІОДНОЇ ЛАМПИ.....	56
5.1 Обґрунтування вибору світлодіодної лампи у якості джерела освітлення для оптико-електронної вимірювальної системи	56
5.2 Експериментальні дослідження світлотехнічних характеристик світлодіодної лампи	57
5.3 Результати експериментального дослідження світлотехнічних характеристик світлодіодної лампи	69
5.4 Висновки до розділу 5	71
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ МІКРОМЕТРИЧНОГО ДІАПАЗОНУ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ОСВІТЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ».....	73
6.1 Опис ідеї проекту.....	73
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	75
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	81
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	88
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап проекту.....	91
6.7 Висновки.....	94
ВИСНОВОК.....	96
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	102

ВСТУП

Освітлення можна розглядати, як одне з найважливіших складових оптико-електронної вимірювальної системи, а його неоптимальний вибір у вимірювальній системі призводить до виникнення похибок вимірювання просторового положення об'єктів. Це відбувається за рахунок втрати інформації про енергетичні, просторові, спектральні характеристики об'єкту та зниження роздільної здатності зображення, що формує вимірювальна система. Від ефективності освітлення оптико-електронної вимірювальної системи залежить якість зображення об'єкту вимірювання. Це відомий факт, але як само різниця в світлотехнічних характеристиках двох різних за технологією виготовлення та розподілом випромінювання джерел освітлення впливає на якість зображення, а у наслідку і на точність вимірювання системи. Для експериментальних досліджень та порівняння світлотехнічних характеристик обрано найпопулярніші за технологіями виготовлення лампи: галогенна й світлодіодна.

З огляду літератури видно, що світлотехнічні характеристики джерел освітлення більше описуються з точки зору застосування їх в якості освітлення для приміщень. Виробники надають інформацію про загальний опис характеристик, за якими кожен користувач може обрати необхідне джерело освітлення.

Існують статті де автори розкривають тонкощі налаштування освітлення оптико-електронних вимірювальних систем. Все більшої популярності в застосуванні набувають джерела освітлення на основі світлодіодів, які можуть забезпечити певний характер розподілу енергії або кольору по всій робочій площині об'єкту вимірювання, що є перевагами такого освітлення [1, 2]. А це звісно привертає увагу науковців, адже забезпечення стабільних світлотехнічних характеристик ламп з регульованими параметрами освітлення, дозволяють підвищити точність оптико-електронних вимірювальних систем тільки за рахунок налаштування системи освітлення.

В роботі [1] автори запропонували метод теоретичного моделювання освітлювальних приладів у вигляді багатокомпонентного джерела освітлення на основі світлодіодних ламп, що застосовують в оптико-електронній вимірювальній системі. Таке рішення дозволило досягнути однорідності випромінювання робочої зони об'єкту вимірювання, що було поставлено науковим колективом за мету. Також автори показали, як параметри та характеристики приймача оптичного випромінювання (за допомогою оптико-електронної системи) впливають на енергетичні, просторові, спектральні та колориметричні властивості багатокомпонентного джерела світла [1].

Як видно, в останній час світлодіодне освітлення для оптико-електронних вимірювальних систем стає все більш популярним, воно має ряд переваг у порівнянні з галогенними лампами накаливання, включаючи енергоефективність, надійність, тривалий термін служби та високу стабільність сили світла. Проте й світлодіодні лампи мають недоліки, наприклад, білі світлодіодні лампи мають обмеження діапазону довжин хвиль. В роботі [3] авторами запропоновано методику для усунення застосування світлових фільтрів, які необхідно використовувати з галогенними джерелами випромінювання, що отримав назву передбачуваного квантово ефективного детектора. Реалізація запропонованого методу суттєво знижує розширену невизначеність до 0,26 % у порівнянні з традиційним методом застосування світлових фільтрів 0,42 %. При калібруванні вузла освітлення оптико-електронної вимірювальної системи з застосування світлодіодних ламп замість галогенних, помилка спектральної невідповідності зменшується в три рази [3].

Переваги застосування світлодіодних ламп описані в роботах [1-3] є показовими, проте іноді галогенні джерела освітлення є вбудованими в оптико-електронну вимірювальну систему і не існує вибору, тоді необхідно проводити вимірювання при освітленні об'єкту галогенною лампою або вдосконалювати вузол освітлення. Стосовно основних світлотехнічних характеристик галогенних та світлодіодних ламп, можна зазначити, що в

джерелах науково-технічної літератури, існують табличні данні з їх числовими показниками. Таку інформацію можна дізнатись на зворотній стороні пакування до лампи. Відомо, що виробники не проводять додаткових досліджень для ламп, що будуть застосовані у вимірювальних системах мікрометричного та нанометрового діапазонів та інших характеристик й параметрів об'єктів. Вони так само, як і звичайні лампи для освітлення приміщень, виготовлені за масового виробництва. Та чи можна довіряти виробникам масового виробництва джерел освітлення й використовувати лампи без проведення додаткових досліджень перш ніж їх застосовувати у вимірювальних системах та яка різниця в світлотехнічних характеристиках ламп, що виготовлені за різними технологіями.

Мета і завдання дослідження.

Отже, у магістерській роботі за мету поставлено задачу підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи мікрометричних геометричних розмірів, її складових вузлів та особливостей налаштування.
2. Провести аналітичне дослідження джерел освітлення, їх світлотехнічних характеристик.
3. Провести аналітичне дослідження відомих методів визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу.
4. Розробити лабораторний макет системи для визначення геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні.
5. Виконати вибір нового джерела освітлення, вдосконалити вимірювальну систему. Провести для нього експериментальні дослідження з визначення світлотехнічних характеристик.

6. Виконати експериментальні дослідження з визначення геометричних розмірів еталонного зразка лінійного розміру при встановленні нового джерела освітлення в оптико-електронну вимірювальну систему.

7. Порівняти отримані результати точності вимірювання геометричних розмірів з базовим та новим джерелом освітлення оптико-електронній вимірювальній системі.

Об'єкт дослідження – світло-технічні характеристики світлодіодного джерела освітлення.

Предмет дослідження – підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону оптико-електронною вимірювальною системою.

В процесі роботи, в залежності від поставлених завдань, застосовувались різні **методи досліджень**: структурно-аналітичний, методи проведення експериментальних досліджень, метод «інтегруючої сфери» для визначення світлового потоку освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу, метод «гоніофотометричний» для визначення світлового потоку освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу, метод обробки результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів. У магістерській роботі отримано наступні наукові результати:

1. Визначено світло-технічні характеристики світлодіодного джерела освітлення.
2. Вдосконалено оптико-електронну вимірювальну систему для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Проведено аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи мікрометричних геометричних розмірів, її складових вузлів та особливостей налаштування.
2. Проведено аналітичне дослідження джерел освітлення, їх світло-технічних характеристик.

3. Проведено аналітичне дослідження відомих методів визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу.

4. Отримано результати точності вимірювання геометричних розмірів з базовим та новим джерелом освітлення оптико-електронній вимірювальній системи. Точність вимірювання системи з галогенною лампою становить $20 \pm 0,96$ мкм, а для світлодіодної лампи $20 \pm 0,23$ мкм.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ, ЇЇ СКЛАДОВИХ ВУЗЛІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ НАЛАШТУВАННЯ

Магістерська дисертація присвячена пошуку нового джерела освітлення, визначення для цього виду випромінювання світлової енергії світлотехнічних характеристик. Інформація та аналіз цих значень, дадуть нам змогу краще налаштувати блок освітлення оптико-електронної вимірювальної системи, в результаті чого ми отримаємо збільшення точності вимірювання геометричних розмірів об'єктів у мікрометричному діапазоні.

1.1 Випромінювання об'єкту та особливості проходження його крізь атмосферу

Перш ніж розпочати збирати оптико-електронну вимірювальну систему для визначення геометричних розмірів, необхідно пригадати та провести аналітичне дослідження того як випромінювання об'єкту надходить до оптико-електронної системи, та які особливості проходження його крізь атмосферу, переш ніж воно дійде до матриці телевізійної камери.

Кожен об'єкт, що має температуру відмінну від абсолютного нуля, випромінює, і таке випромінювання яке називається тепловим. Ми будемо розглядати теплове випромінювання тільки в діапазоні довжин хвиль 380-780 нм (рис. 1.1) з наступних причин. По-перше, велика частина енергії випромінювання, що випускається об'єктами при земних температурах, припадає саме на цей діапазон. По-друге, саме в цьому ж діапазоні перебувають так звані вікна прозорості атмосфери, які дозволяють виявляти оптичні сигнали на порівняно великих відстанях.

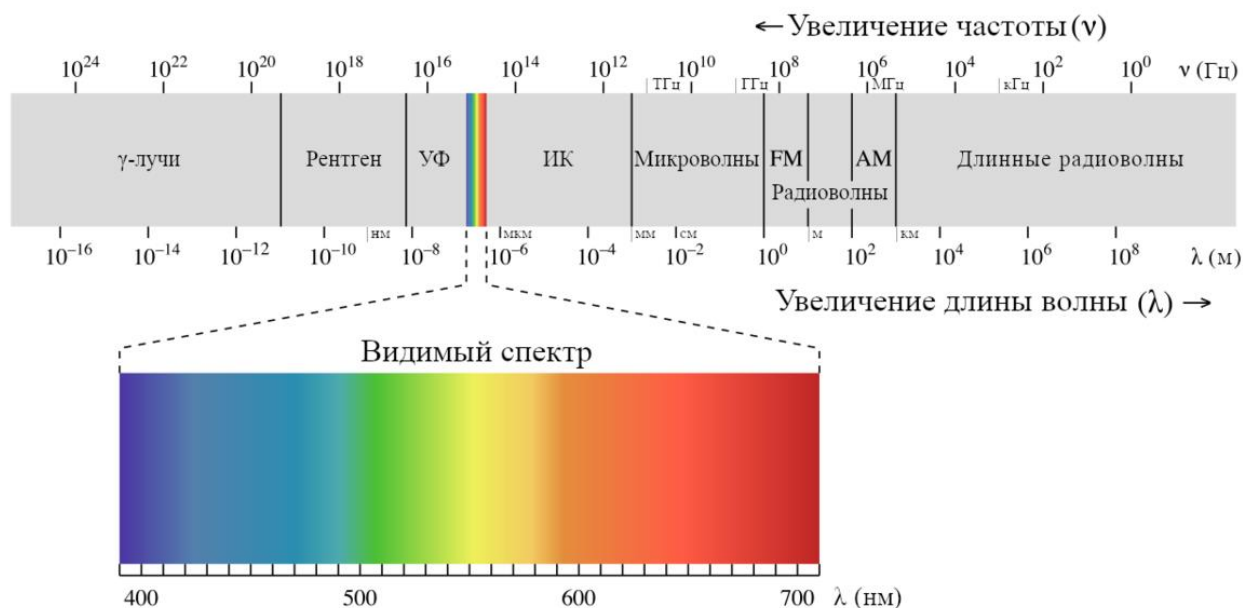


Рисунок 1.1 – Зображення спектру випромінювання

Теплове випромінювання при земних температурах складається головним чином з власного випромінювання, обумовленого переходами між коливальними і обертальними енергетичними рівнями молекул, а також з відбитого випромінювання від інших нагрітих джерел. У багатьох додатках, пов'язаних з отриманням зображення, дійсний механізм випромінювання не грає ролі, важливо лише наявність виявленої різниці температур. Фундаментальним співвідношенням в теорії теплового випромінювання є формула Планка випромінювання абсолютно чорного тіла. Висновок цієї формули заснований на уявленні, що теплове випромінювання генерується в процесі простого гармонійного коливання лінійних атомних осциляторів не неперервним чином, а дискретними квантами.

Характеризуючи ефективність випромінювання теплових джерел, розглядають два основні види випромінювачів: чорні тіла, сірі тіла. Чорні тіла – це абсолютно чорні тіла, що мають коефіцієнт випромінювальної здатності, ще його називають коефіцієнт чорноти, що дорівнює 1, іншими словами це еталони випромінювання; до сірих тіл відноситься решта об'єктів, що мають коефіцієнт чорноти менший за одиницю. Отже можемо записати, що кількісно ефективність випромінювання описується спектральною випромінювальною

здатністю, яка визначає ефективність випромінювання по даній довжині хвилі, а абсолютно чорне тіло - це ідеалізоване поняття. При даній температурі воно випускає і поглинає теоретично можливий максимум випромінювання.

1.2 Закони випромінювання, на яких базується робота оптико-електронної системи

Найпростіші геометричні співвідношення при випромінюванні зобразимо на рисунку 1.2.

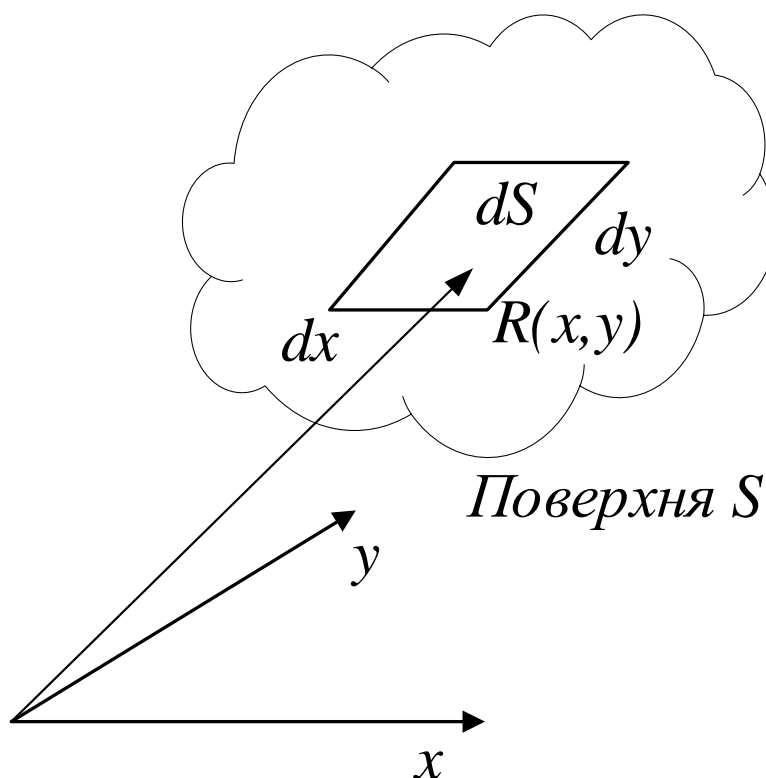


Рисунок 1.2 - Зображення геометричних співвідношень при випромінюванні об'єкту:

S – двомірна випромінююча поверхня об'єкту; dS – площа нескінченно малого елемента поверхні об'єкту; $R(x, y)$ – відстань від випромінювача до точки (x, y) поверхні об'єкту S

Конус, що утворюється при русі $R(x, y)$ по межі поверхні об'єкту S , утворює тілесний кут Ω , його розмірність показується у стерadianах. Запишемо формулу для визначення тілесного кута.

$$\Omega = \iint_s \frac{dS}{R^2(x, y)} = \iint_s \frac{dxdy}{R^2(x, y)} \quad (1.1)$$

Перш ніж сформулювати закони випромінювання, розглянемо систему позначень, що прийнято у світовій практиці. Вживається кілька різних систем, включаючи досить загальну фотометричну систему [4]. Однак цілком задовільними і широко застосовуються при описі систем теплового зображення є позначення, що рекомендуються Хадсоном. Нижче терміни вживаються в такому позначення: площа поверхні об'єкту S (см²), тілесний кут

Ω (ср), час t (с) і часткові похідні по цим величинам $\frac{\partial}{\partial S}$, $\frac{\partial}{\partial \Omega}$, $\frac{\partial}{\partial t}$.

Якщо U енергія випромінювання, тоді можемо визначити наступні величини: Потік випромінювання

$$P = \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1.2)$$

Одиниця вимірювання $[Bm]$.

Поверхнева щільність потоку випромінювання

$$W = \frac{\partial P}{\partial S} = \frac{\partial^2 U}{\partial S \partial t} \quad (1.3)$$

Одиниця вимірювання $\left[\frac{Bm}{cm^2} \right]$. Енергетична сила світла

$$J = \frac{\partial P}{\partial \Omega} = \frac{\partial^2 U}{\partial \Omega \partial t} \quad (1.4)$$

Одиниця вимірювання $\left[\frac{Bm}{sr} \right]$. Енергетична яскравість

$$N = \frac{\partial^2 P}{\partial S \partial \Omega \partial^3 U} \quad (1.5)$$

Одиниця вимірювання $\left[\frac{Вт}{см^2 \cdot ср} \right]$.

Спектральний розподіл кожної з цих величин можна знайти, взявши приватну похідну по довжині хвилі λ ; тоді ці величини отримують індекс λ , наприклад спектральна щільність потоку випромінювання позначається W_λ .

При аналізі часто вважають, що справедливий один з відомих законів випромінювання - закон Ламберта, згідно з яким енергетична сила світла J $[Вт/ср]$ ідеального дифузного випромінювача пропорційна косинусу кута між нормаллю до поверхні і напрямком спостереження. При близьких до нормалі напрямках спостереження це наближення є досить точним для багатьох матеріалів. Для плоского випромінювача інтегрування в межах тілесного кута 2π щільності потоку випромінювання W $[Вт/см^2]$, що розподілена в просторі за законом Ламберта, дає формулу, яка наведена нижче:

$$W = \pi N \quad (1.6)$$

Спектральна щільність потоку випромінювання чорного тіла за законом Планка дорівнює формулі, що наведено нижче:

$$W_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1}, [Вт/см^3]. \quad (1.7)$$

Частіше зустрічається інший запис закону Планка, де довжина хвилі виражається у мкм. Отже зазначимо закон Планка

$$W_\lambda(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}, [Вт/см^2 \cdot мкм] \quad (1.8)$$

Закон Планка записується для часткової похідної по довжині хвилі від щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла $W(T)$, оскільки він описує розподіл випромінювання по спектру. Це пов'язано з тим, що на

даній довжині хвилі завжди $W(\lambda) = 0$, в той час як інтегрування рівняння, що описує закон Планка, дає закон Стефана-Больцмана, спочатку отриманий експериментально:

$$W(T) = \int_0^{\infty} W_{\lambda}(T, \lambda) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}. \quad (1.9)$$

Оскільки, наш об'єкт для визначення геометричних розмірів має температуру відмінну від абсолютного нуля та й джерело освітлення об'єкту має температуру більше абсолютного нуля, тоді приймемо, що об'єкт випромінює за законом Планка.

1.3 Оптико-електронна вимірювальна система

Розпочнемо аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи з побудови лабораторного макету цієї оптико-електронної системи для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону. Зазначення діапазону вже говорить про те, що нам необхідна буде система збільшення зображення, а отже необхідно застосувати оптичний об'єктив. Для подальшої роботи щодо теоретичного огляду побудови експериментального макету, нам необхідно визначитись з об'єктом дослідження та його структурою, бо від фізичних властивостей об'єкту буде залежати модифікація майбутньої вимірювальної системи.

Оскільки, у технічному завданні не зазначено які само об'єкти дослідження ми маємо розглядати у дисертації прозорі або непрозорі, ми виконаємо обмеження самостійно, та оберемо прозорі об'єкти дослідження. Від цього рішення ми відштовхуємось у подальшій роботі конструювання експериментального макету.

Обираємо за тіло майбутньої оптико-електронної вимірювальної системи оптичний мікроскоп, що буде відповідати у поєднанні з об'єктивом за оптичну складову вимірювальної системи. Стосовно електронної складової вимірювальної системи, то ми обираємо телевізійну камеру з CCD матрицею

(ПЗЗ матрицею). Такий вибір було зроблено через доступність придбання даної камери та характеристики, що повністю задовольняють нашим потребам. Звісно нам необхідне програмне забезпечення, що дозволить нам обробляти інформацію, що несе в собі випромінювання сприйняте матрицею від об'єкту контролю. Ми обрали готове програмне забезпечення, адже у технічному завданні не стоїть питання про розробку програмного забезпечення. Наші зусилля повинні бути направлені на дослідження світлотехнічних характеристик нового джерела освітлення.

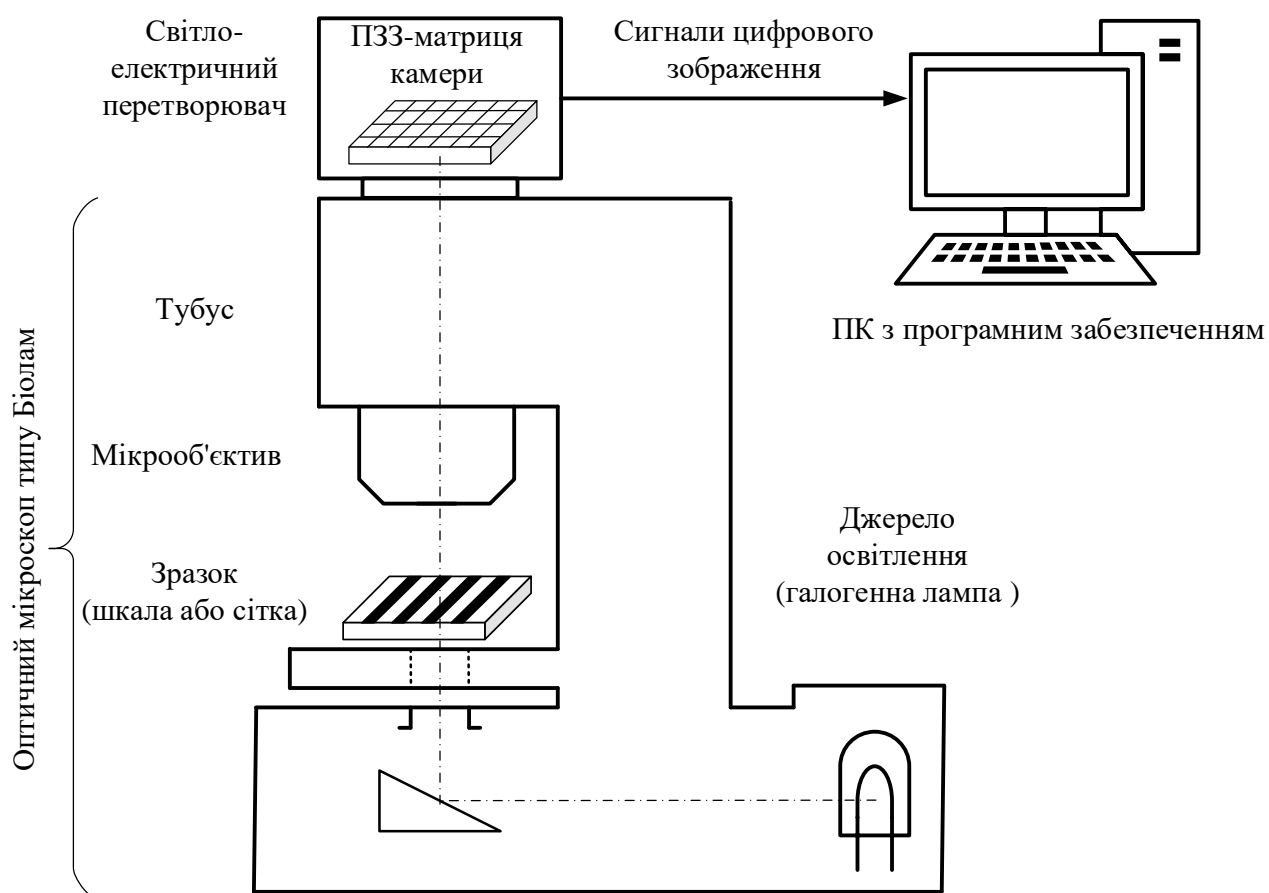


Рисунок 1.1 – структурна схема оптико-електронної вимірювальної системи для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону

Відомо, що оптичний мікроскоп, що ми обрали у якості основного вузла нашої майбутньої вимірювальної системи має власне джерело освітлення (галогенна лампа). Хочемо зазначити, що для нього вже проведено експериментальні дослідження з визначення світло-технічних характеристик та зазначення особливостей налаштування у вимірювальній системі. Як видно з відкритих джерел, воно є нестабільним при перших хвилинах ввімкнення до

живлення, і тому існує потреба у прогріванні вимірювальної системи 18 хвилин. Такий показник визначено експериментальним шляхом. Також мають зміни світлотехнічні характеристики галогенної лампи після 1 години роботи. Як зазначає автор, відбуваються зміни світлового потоку майже на 3 % та змінюється колірна температура майже на 1 %. Такі числові показники на перший погляд здаються незначними. Так дійсно, якщо вимірювати в сантиметровому або метровому діапазонах, проте для мікронного діапазону вимірювання це вже має вплив на точність вимірювання.

1.4 Висновки до розділу 1

В даній магістерській дисертаційній роботі у першому розділі проведено аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи для визначення геометричних розмірів дефектів мікрометричного діапазону, її складових вузлів та особливостей налаштування. З самої теми дисертації «Підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону шляхом вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної системи» видно, що шляхом підвищення точності вимірювання геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні є вдосконалення джерела освітлення.

Для кращого розуміння роботи оптико-електронної системи ми розглянули закони випромінювання, на яких базується їх робота. У цьому розділі запропоновано узагальнену структурну схему вимірювальної системи. Для її конструювання було обрано оптичний мікроскоп, що відповідає у поєднанні з об'єктивом за оптичну складову вимірювальної системи; стосовно електронної складової вимірювальної системи, то ми обирали телевізійну камеру з CCD матрицею (ПЗЗ матрицею); комп'ютер з спеціалізованим програмним забезпеченням.

Як ми зазначали раніше, джерело освітлення об'єкту в цій системі є нестабільним при перших хвилинах ввімкнення до живлення, і тому існує потреба у прогріванні вимірювальної системи 18 хвилин. Також мають зміни світлотехнічні характеристики галогенної лампи після 1 години роботи,

відбуваються зміни світлового потоку майже на 3 % та змінюється колірна температура майже на 1 %.

Тому пропонуємо вдосконалити оптико-електронну вимірювальну систему для визначення геометричних розмірів новим вузлом освітлення, а за основу обрати світлодіодну лампу. Та перш ніж вводити її у конструкцію вузла освітлення, необхідно провести експериментальні дослідження світлотехнічних характеристик, бо може вийти так, що вона не буде мати кращих показників світлотехнічних характеристик у порівнянні з «рідною» галогенною лампою.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СВІТЛО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ

В даному розділі ми проведемо огляд методів, що дозволяють нам провести дослідження параметрів світлового потоку джерела випромінювання (лампи). Ми обрали дві методи: метод інтегруючої сфери та гоніофотометричний. Такий вибір пов'язаний з якістю вимірювань, що можуть надати ці методи та з доступністю проведення аналітичних досліджень нового джерелв випромінювання для оптико-електронної вимірювальної системи. В Україні є наукові інститути де можна провести аналогічні дослідження.

2.1 Метод «інтегруючої сфери» визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлорозподілу

Найбільшої доступності для українського науковця через простоту вимірювання світлового потоку є метод, при реалізації якого використовують інтегруючий світловий фотометр, такий метод визначення світлового потоку має другу назву, а саме метод інтегруючої сфери.

Принцип роботи методу інтегруючої кулі полягає у наступному. Відбувається порівняння показників освітленості датчику, що опромінюється випромінювання, яке відбивається від стінок інтегруючої кулі. Отримані результати порівнюють з еталоном випромінювання. Такий принцип роботи підлягає під закон Ламберта.

Також хочемо додати, що при дослідженні світлотехнічних характеристик ламп методом інтегруючої сфери, фотометр підлягає градуюванню по еталону випромінювання. Лампи, що підлягають дослідженню мають широкий асортимент щодо випромінювання, сили потоку, а отже цей метод потребує велику кількість еталонів випромінювання, щоб мати змогу провести дослідження для великого асортименту ламп. До переваг методу інтегруючої сфери слід віднести час, що необхідний для проведення дослідження, він значно менший у порівнянні з

гоніофотометричним методом, проте відштовхуючись від цього виникає недолік – похибка вимірювання світлотехнічних характеристик. До недоліків слід віднести і той момент, що не завжди при дослідженні можна знайти необхідний еталон випромінювання, береться еталон, у якого близький діапазон випромінювання сили світла, а отже вже перед початком дослідження закладається інструментальна похибка вимірювання.

Наведемо приклади інтегруючих куль для проведення досліджень світлотехнічних характеристик ламп на рисунку 2.1

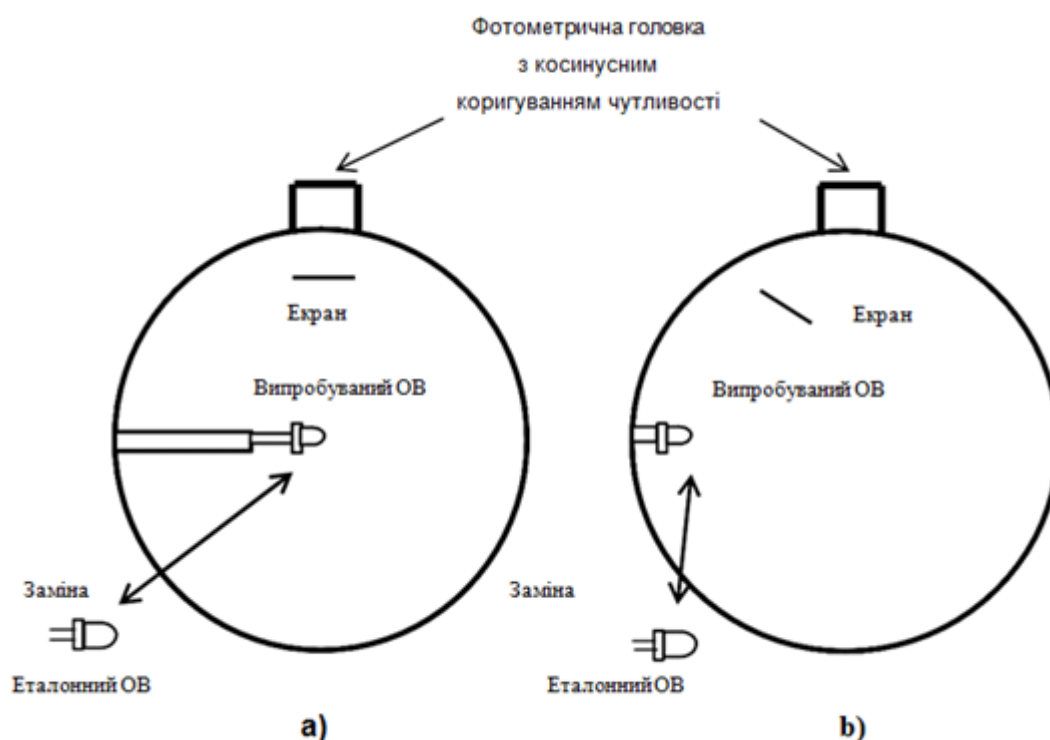


Рисунок 2.1 – Приклади інтегруючих куль для проведення досліджень методом інтегруючої кулі

2.2 Гоніофотометричний метод визначення світлового потоку для освітлювальних систем з різним типом світлорозподілу

Найбільшої доступності для українського науковця через простоту вимірювання світлового потоку є метод, при реалізації якого використовують інтегруючий світловий фотометр, такий метод визначення світлового потоку має другу назву, а саме метод інтегруючої сфери.

До переваг методу слід віднести практичну відсутність похибок вимірювання. Це пов'язано з тим, що метод враховує різницю випромінювання у інтенсивності лампи. Також зазначимо, що цей метод проводить вимірювання без еталону випромінювання і цей факт також слід віднести до переваг. Однак, до недоліків даного методу можемо віднести той факт, що при застосуванні гоніофотометричного методу, необхідно значно більше часу для визначення світлового потоку джерела дослідження. Адже вимірювання відбувається в декількох площинах, їх кількість залежить від кількості таких площ, де яких визначають залежність сили світла об'єкту від напрямку дослідження. У такий спосіб отримують графічне зображення розподілу сили світла лампи, що досліджується.

Найбільшого застосування набула модель розподілу на три площини вимірювання сили світла лампи, а саме на площину типу А, на площину типу В, і на площину типу С.

Наведемо графічне зображення цих площин розподілу сили світла, щоб краще зрозуміти як відбувається розподіл та коротко опишемо ці площини. Отже, розпочнемо з площини типу А. Її графічне зображення наведено на рисунку 2.2.

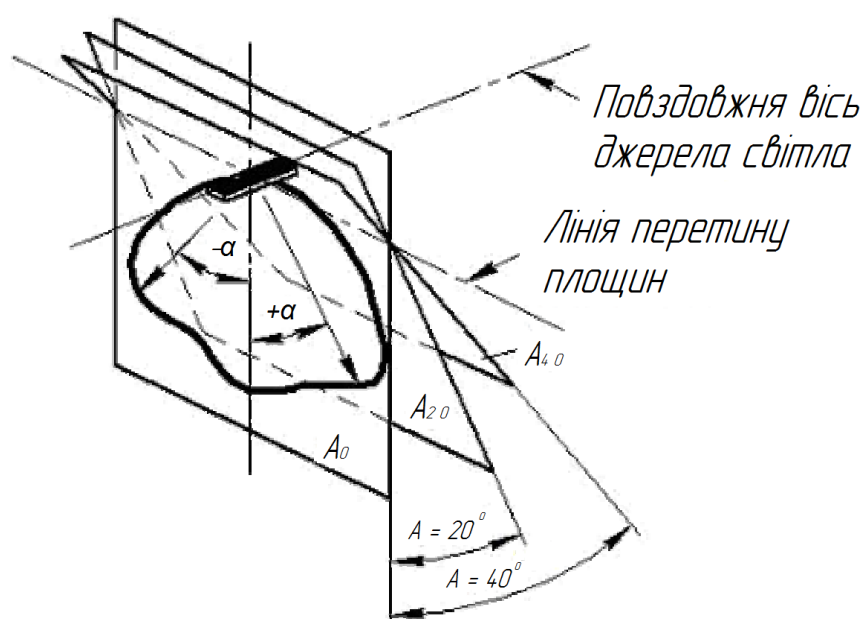


Рисунок 2.2 – Розподіл сили світла за типом А

Розподіл сили світла за типом А утворює площину, що обмежується лініями, по-перше, яка проходить крізь фотометричний центр лампи (лінія, що паралельна випромінюючій поверхні), та, по-друге, лінією яка перпендикулярна поздовжньої осі лампи.

Розглянемо наступний тип розподілу сили світла, а саме тип В. Його графічне зображення наведено на рисунку 2.3.

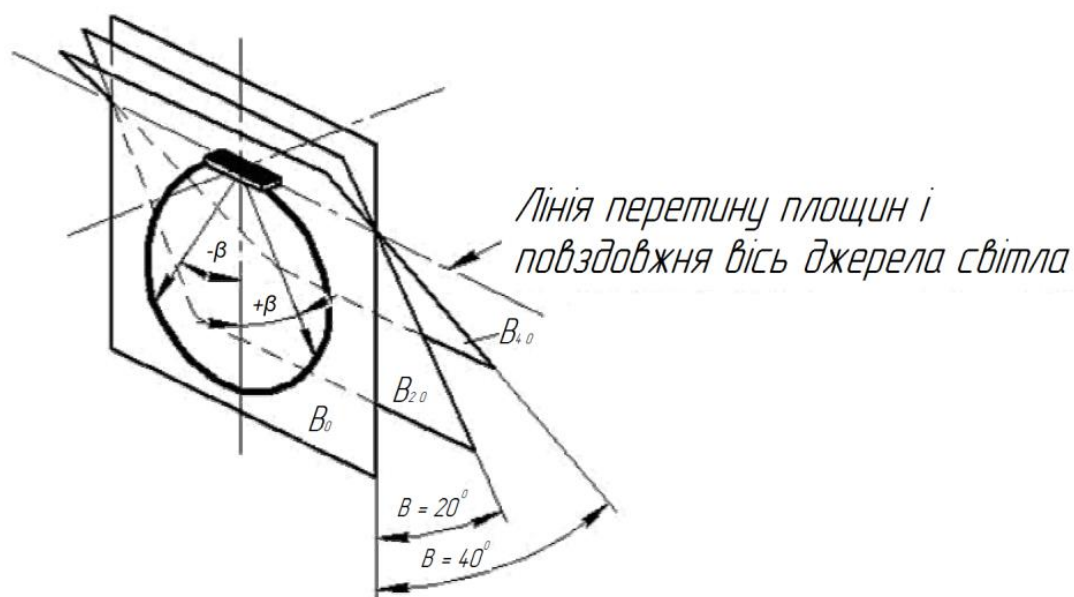


Рисунок 2.3 – Розподіл сили світла за типом В

Розподіл сили світла за типом В утворює площину, що обмежується лініями, по-перше, лінією оптичної осі лампи, та, по-друге, лінією, що перпендикулярна випромінюючій поверхні лампи.

Розглянемо наступний тип розподілу сили світла, а саме тип С. Його графічне зображення наведено на рисунку 2.4.

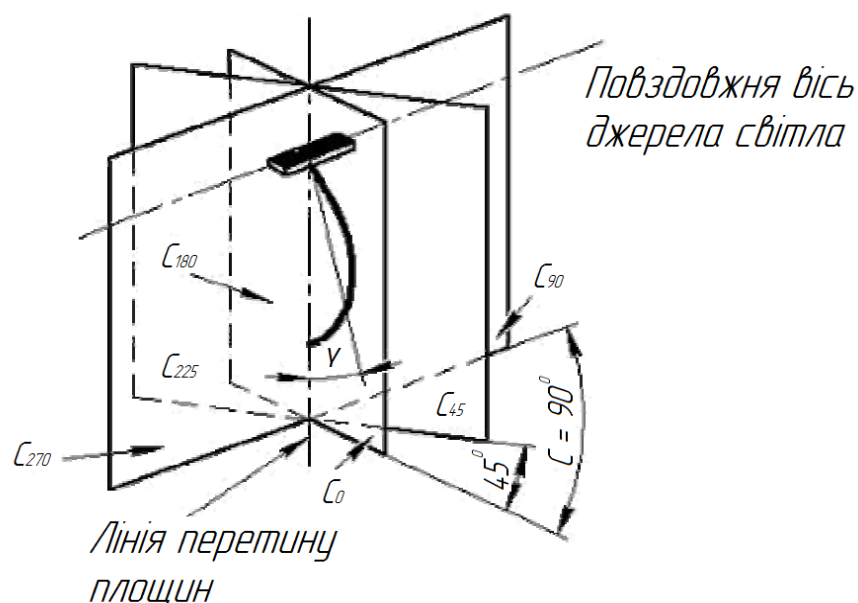


Рисунок 2.4 – Розподіл сили світла за типом С

Розподіл сили світла за типом С утворює площину, що обмежується лініями, по-перше, оптичною віссю лампи, та, по-друге, лінією, що перпендикулярна випромінюючій поверхні лампи.

Ми навели приклад розподілу світлового потоку джерела дослідження (лампи) на три площини, але хочемо ще раз наголосити на тому, що розподіл може бути на більшу кількість площин. При збільшенні кількості площин, ми отримуємо більшу точність визначення світлотехнічних параметрів ламп і водночас збільшуємо час на проведення досліджень гоніофотометричним методом.

2.3 Висновки до розділу 2

У другому розділі ми визначили основні відомі методи визначення світло-технічних характеристик джерел освітлення у другому розділі дисертації. В розділі нами проаналізовано методи «інтегруючої сфери» та «гоніофотометричний» для визначення світлового потоку освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу. Звісно, ми розглядали методи світового досвіду визначення цих характеристик та вітчизняного досвіду, адже

ми планували проведення експериментальних досліджень власного джерела випромінювання, що відповідало б світовому рівню.

З огляду переваг та недоліків кожного з методів, можемо зробити висновок, що для нас краще використовувати гоніофотометричний метод визначення світлового потоку освітлювальних систем, адже він дає вищу точність у порівнянні з методом інтегруючої сфери, навіть не зважаючи, що дане дослідження займе більше часу. Ми не можемо допустити закласти інструментальну похибку, для того випадку, якщо проводити дослідження методом інтегруючої сфери. Ми вдосконалюємо вузол освітлення для оптико-електронної вимірювальної системи, що має проводити вимірювання дефектів у мікрометричному діапазоні, а це означає, що похибка такого вимірювання може становити нанометри. І витрачений час на дослідження, дозволить нам отримати вищу точність вимірювання геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

Перш ніж розпочати виконувати аналітичний огляд джерел освітлення оптико-електронної системи, хочемо зазначити, які саме характеристики будуть важливими для нас при проведенні світлотехнічних досліджень. Можливо, цей пункт необхідно було зазначити в розділі 2, однак ми надали перевагу представити дану інформацію у розділі 3.

3.1 Світлотехнічні характеристики джерел освітлення

Розпочнемо наш огляд з тих характеристик, що частіше за все виробники будь-яких джерел освітлення, зазначають на пакуванні. До них слід віднести:

- 1 активну потужність споживання;
- 2 світловий потік,
- 3 світлову віддачу;
- 4 корельовану колірну температуру.

Зазвичай перерахованих світлотехнічних характеристик достатньо для звичайного користувача, однак, оскільки ми використовуємо джерело освітлення у якості вузла, що освітлює об'єкт оптико-електронної системи для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону, то нам необхідно перевірити всі ці показники та решту світлотехнічних характеристик, які виробники не зазначають на пакуванні.

Отже до світлотехнічних характеристик, що виробники не зазначають на пакуванні, а нам необхідно знати ці показники, слід віднести індекс кольоропередачі, індекс пульсації освітленості, графічне зображення часової залежності світлового потоку (саме за ним ми визначимо час, що необхідний джерелу випромінювання для того, щоб увійти у робочий режим стабілізації світлового потоку, від початку включення вимірювальної системи), значення параметрів спектру випромінювання, тривимірна модель просторового розподілу сили світла джерела випромінювання та діаграма розподілу сили світла (дозволяють визначити оптимальне розташування лампи по

відношенню до об'єкту вимірювання геометричних розмірів, при значних дефектах, можемо зазначити ділянки, яких слід уникати при вимірюванні.)

3.2 Огляд джерел освітлення з зазначенням світлотехнічних характеристик

Хочемо одразу зазначити, що ми розглядаємо світлосигнальні характеристики та спектральні характеристики випромінювання кожного джерела з перспективою застосування його у оптико-електронній системі. Після проведення аналітичного дослідження, ми зробимо висновок, щодо рекомендації до використання або ж не рекомендації до застосування в нашій вимірювальній системі.

3.2.1 Джерело освітлення типу Econom Longer 100 W

Розглянемо перше джерело освітлення Econom Longer 100 W щодо можливості вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної вимірювальної системи.

Світловий потік при куті 90° дорівнює 1159 люмени, при куті 180° дорівнює 1126 люмени, при 270° дорівнює 1149 люмени, при 360° дорівнює 1182 люмени. Як видно з отриманих показників, дана лампа має нерівномірний розподіл світлового потоку.

Колірна температура при куті 90° дорівнює 2758°K , при куті 180° дорівнює 2756°K , при 270° дорівнює 2758°K , при 360° дорівнює 2760°K . Як видно з отриманих показників, дана лампа має незначні зміни колірної температури, максимальна різниця між температурами при різних кутах становить 4°K .

Зображення спектральних характеристик при кутах розташування при дослідженні лампи 90° , 180° , 270° , 360° . Числові показники максимуму спектральної характеристики при 90° дорівнює 583,8 нм, 180° дорівнює 583,8 нм, 270° дорівнює 583,8 нм, 360° дорівнює 583,8 нм. З цих результатів видно, що кут нахилу лампи не впливає на максимум спектральної характеристики.

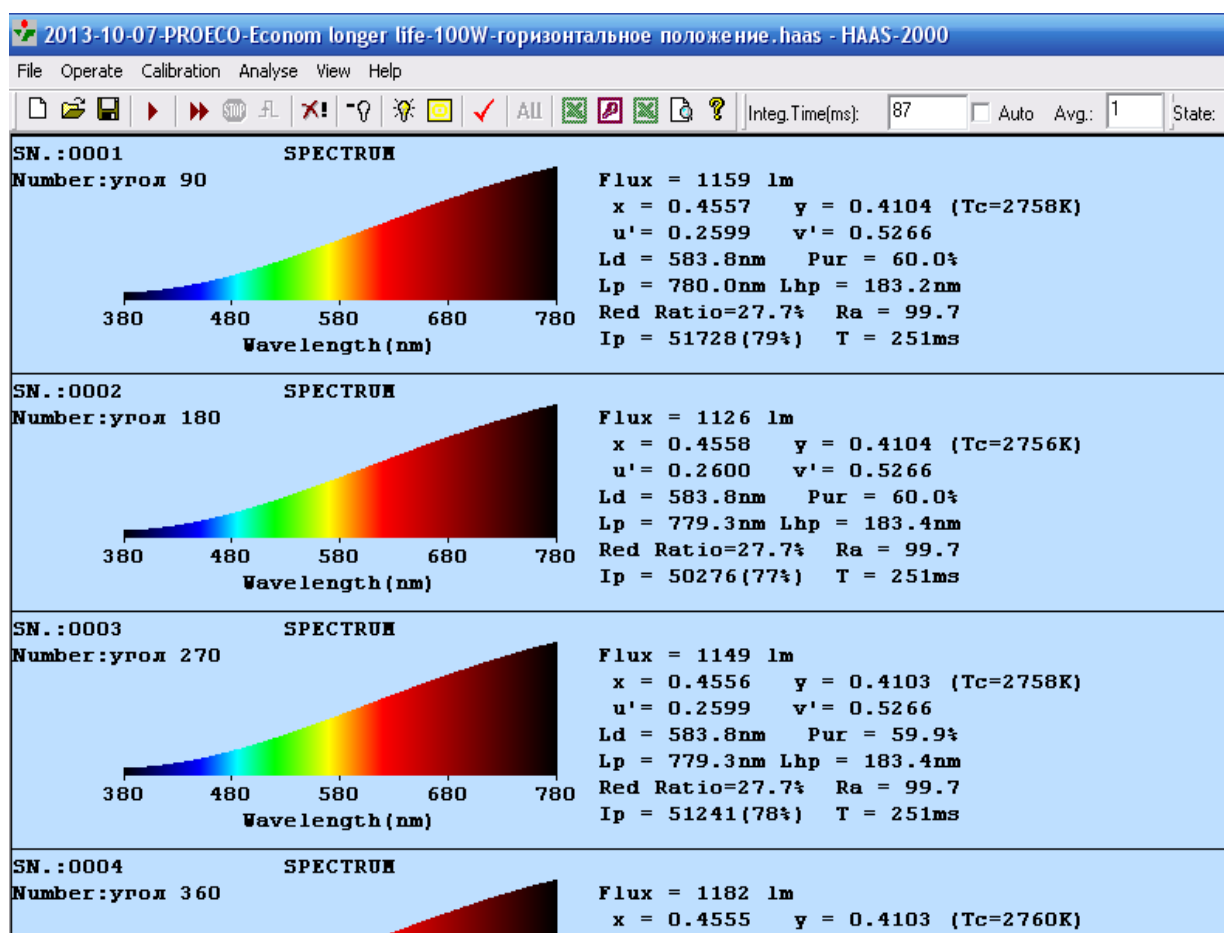


Рисунок 3.1 – Спектральні характеристики джерела освітлення типу Econom Longer 100 W з зазначенням кута

SN.	Number	Flux(lm)	Fe(mW)	Eff.(lm/W)	x,y	u',v'	Tc(K)	
<input checked="" type="checkbox"/>	0001	γr0л 90	1159	7624	-	0.4557 0.4104	0.2599 0.5266	2758
<input checked="" type="checkbox"/>	0002	γr0л 180	1126	7404	-	0.4558 0.4104	0.2600 0.5266	2756
<input checked="" type="checkbox"/>	0003	γr0л 270	1149	7554	-	0.4556 0.4103	0.2599 0.5266	2758
<input checked="" type="checkbox"/>	0004	γr0л 360	1182	7767	-	0.4555 0.4103	0.2598 0.5266	2760
<input checked="" type="checkbox"/>	0005	γr0л 45	1165	7658	-	0.4555 0.4103	0.2598 0.5266	2760
<input checked="" type="checkbox"/>	0006	γr0л 135	1149	7563	-	0.4558 0.4103	0.2600 0.5266	2756
<input checked="" type="checkbox"/>	0007	γr0л 225	1135	7472	-	0.4558 0.4104	0.2600 0.5266	2756
<input checked="" type="checkbox"/>	0008	γr0л 315	1164	7645	-	0.4555 0.4103	0.2598 0.5266	2760

Рисунок 3.2 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу Econom Longer 100 W (частина 1)

SN.	Number
<input checked="" type="checkbox"/> 0001	угол 90
<input checked="" type="checkbox"/> 0002	угол 180
<input checked="" type="checkbox"/> 0003	угол 270
<input checked="" type="checkbox"/> 0004	угол 360
<input checked="" type="checkbox"/> 0005	угол 45
<input checked="" type="checkbox"/> 0006	угол 135
<input checked="" type="checkbox"/> 0007	угол 225
<input checked="" type="checkbox"/> 0008	угол 315

Ip	Ld(nm)	Pur(%)	Lp(nm)	HW(nm)	Red Ratio(%)	Ra
51728(79%)	583.8	60.0	780.0	183.2	27.7	99.7
50276(77%)	583.8	60.0	779.3	183.4	27.7	99.7
51241(78%)	583.8	59.9	779.3	183.4	27.7	99.7
52649(80%)	583.8	59.9	780.0	183.5	27.7	99.7
51943(79%)	583.8	59.9	780.0	183.6	27.7	99.7
51297(78%)	583.8	60.0	779.3	183.4	27.7	99.7
50692(77%)	583.8	60.0	780.0	183.2	27.7	99.7
51808(79%)	583.8	59.9	780.0	183.7	27.7	99.7

Рисунок 3.3 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу Econom Longer 100 W (частина 2)

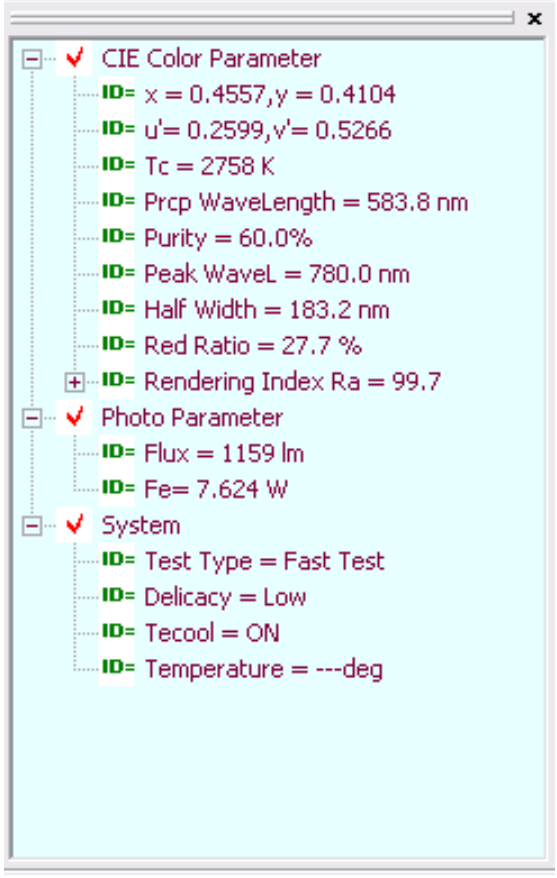
	<p>З огляду результатів наведених у вікні, що зображено на рисунку 3.4 можемо також додати, що чистота дорівнює 60 %,максимальна довжина хвилі дорівнює 780 нм, середина ширини спектру припадає на довжину хвилі 183,2 нм, співвідношення червоного спектру 27,7 %, індекс візуалізації (індекс передачі кольору) 99,7.</p> <p>Стосовно фотометричних параметрів, то можемо зазначити, що світловий потік дорівнює 1159 люмен.</p>
---	---

Рисунок 3.4 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу Econom Longer 100 W

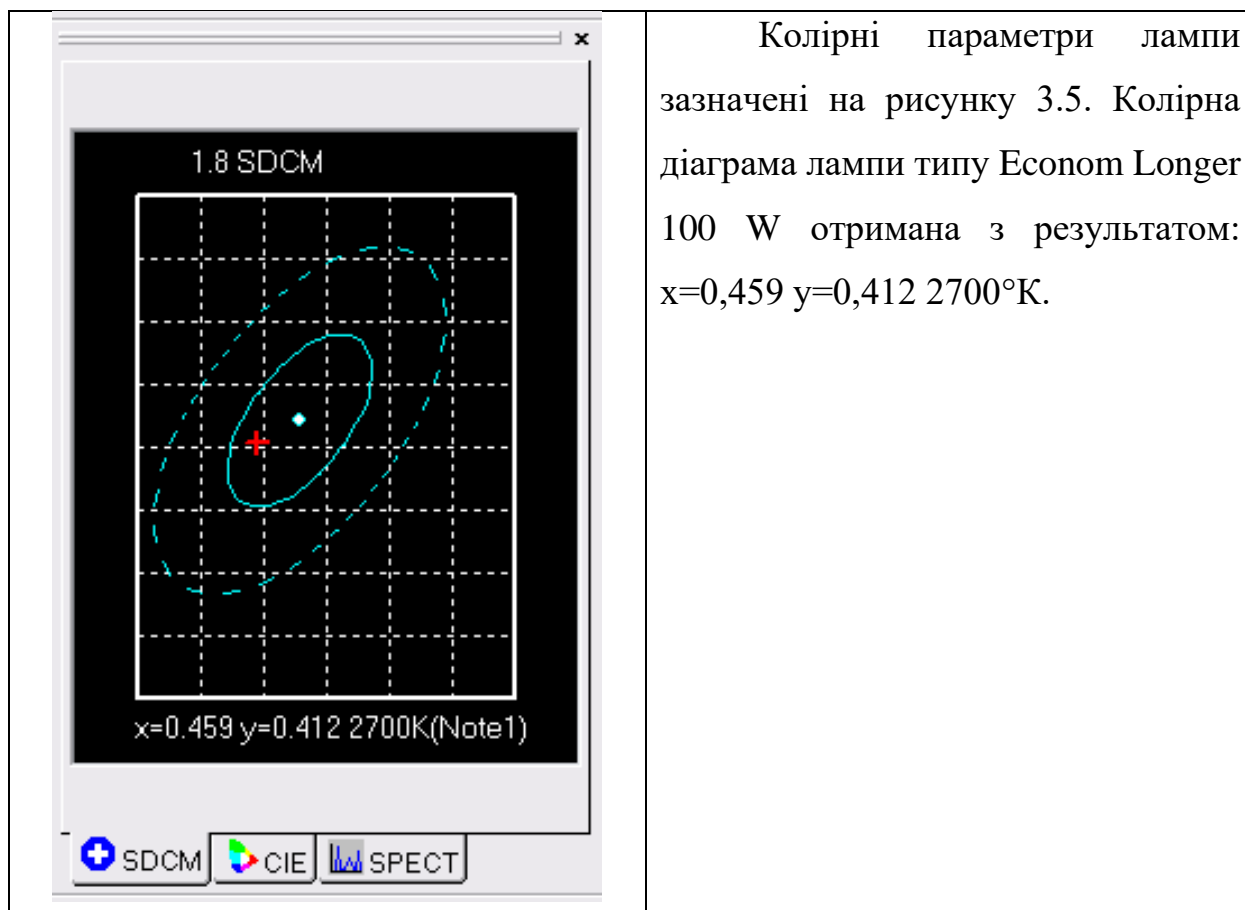


Рисунок 3.5 – Результати дослідження колірних параметрів джерела освітлення типу Econom Longer 100 W

Ми зазначили світлотехнічні характеристики першого джерела освітлення.

3.1.2 Джерело освітлення типу ВАТРА СДЛ 127

Розглянемо друге джерело освітлення ВАТРА СДЛ 127 щодо можливості вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної вимірювальної системи.

Світловий потік при куті 90° дорівнює 552,7 люмени, при куті 180° дорівнює 1126 люмени, при 270° дорівнює 1149 люмени, при 360° дорівнює 570,7 люмени. Як видно з отриманих показників, дана лампа має нерівномірний розподіл світлового потоку. Колірна температура при куті 90° дорівнює 3172 °K, при куті 180° дорівнює 3162 °K, при 270° дорівнює 3174 °K, при 360° дорівнює 3178°K. Як видно з отриманих показників, дана лампа має

зміни колірної температури, максимальна різниця між температурами при різних кутах становить 16°K.

Для лампи ВАТРА наведемо зображення спектральних характеристик при кутах розташування, що визначені дослідженні під різними кутами нахилу лампи 90°, 180°, 270°, 360°. Числові показники максимуму спектральної характеристики при 90° дорівнює 582,2 нм, 180° дорівнює 582,2 нм, 270° дорівнює 582,2 нм, 360° дорівнює 582,2 нм. З цих результатів видно, що кут нахилу лампи не впливає на максимум спектральної характеристики.

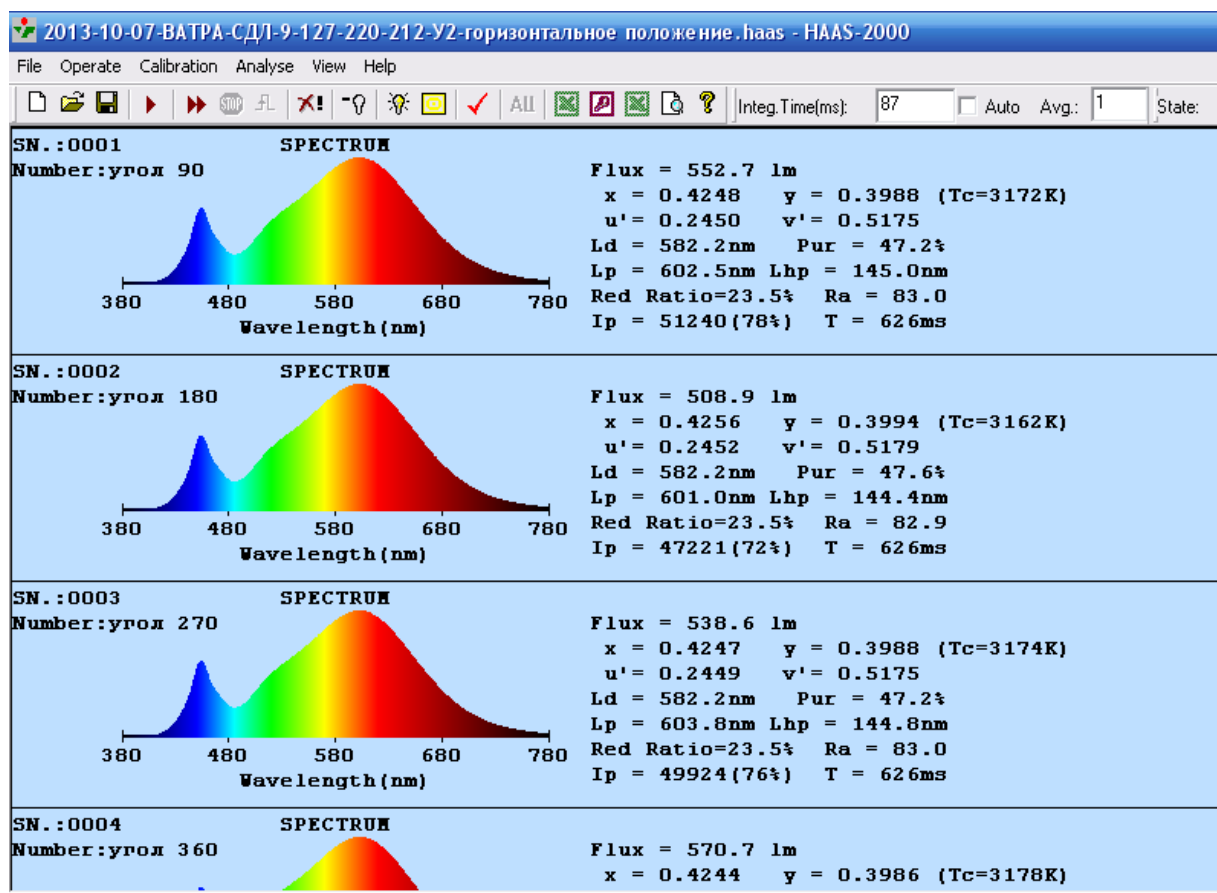


Рисунок 3.6 – Спектральні характеристики джерела освітлення типу ВАТРА СДЛ 127 з зазначенням кута

SN.	Number	Flux(lm)	Fe(mW)	Eff.(lm/W)	x,y	u',v'	Tc(K)	Ip
☑ 0001	угол 90	552.7	1741	-	0.4248 0.3988	0.2450 0.5175	3172	51240(78%)
☑ 0002	угол 180	508.9	1602	-	0.4256 0.3994	0.2452 0.5179	3162	47221(72%)
☑ 0003	угол 270	538.6	1696	-	0.4247 0.3988	0.2449 0.5175	3174	49924(76%)
☑ 0004	угол 360	570.7	1798	-	0.4244 0.3986	0.2448 0.5173	3178	52791(81%)
☑ 0005	угол 45	566.9	1786	-	0.4246 0.3987	0.2449 0.5174	3176	52485(80%)
☑ 0006	угол 135	530.3	1670	-	0.4253 0.3991	0.2451 0.5177	3166	49216(75%)
☑ 0007	угол 225	517.3	1629	-	0.4252 0.3991	0.2451 0.5177	3167	48034(73%)
☑ 0008	угол 315	558.5	1759	-	0.4245 0.3987	0.2448 0.5174	3177	51684(79%)

Рисунок 3.7 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу ВАТРА СДЛ 127 (частина 1)

SN.	Number
<input checked="" type="checkbox"/> 0001	угол 90
<input checked="" type="checkbox"/> 0002	угол 180
<input checked="" type="checkbox"/> 0003	угол 270
<input checked="" type="checkbox"/> 0004	угол 360
<input checked="" type="checkbox"/> 0005	угол 45
<input checked="" type="checkbox"/> 0006	угол 135
<input checked="" type="checkbox"/> 0007	угол 225
<input checked="" type="checkbox"/> 0008	угол 315

Ld(nm)	Pur(%)	Lp(nm)	HW(nm)	Red Ratio(%)	Ra	I(A)	U(V)
582.2	47.2	602.5	145.0	23.5	83.0	-	-
582.2	47.6	601.0	144.4	23.5	82.9	-	-
582.2	47.2	603.8	144.8	23.5	83.0	-	-
582.2	47.0	602.1	145.1	23.4	83.0	-	-
582.2	47.1	601.7	145.1	23.4	83.0	-	-
582.2	47.4	602.5	144.6	23.5	83.0	-	-
582.2	47.4	602.6	144.8	23.5	82.9	-	-
582.2	47.0	601.7	145.1	23.4	83.0	-	-

Рисунок 3.8 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу ВАТРА СДЛ 127 (частина 2)

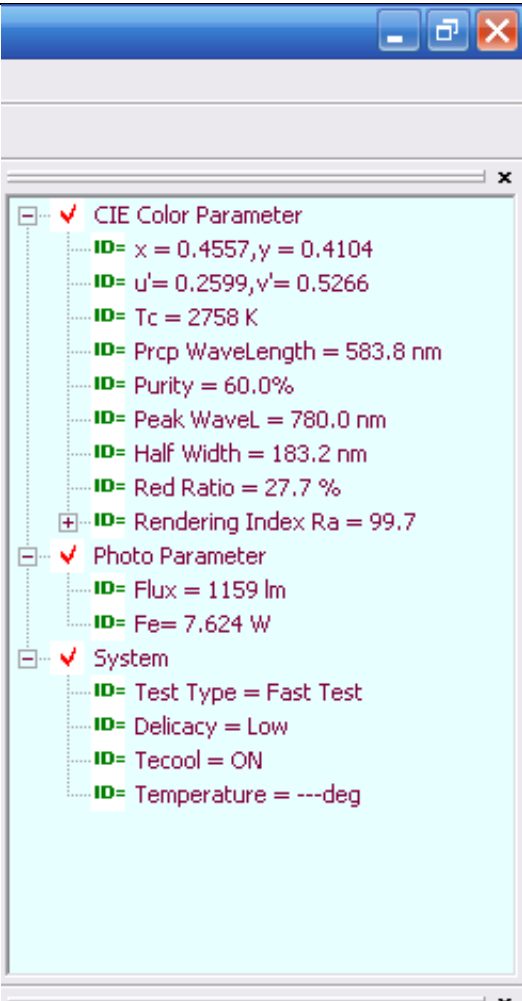
	<p>З огляду результатів наведених у вікні, що зображено на рисунку 3.9 можемо також додати, що чистота дорівнює 60 %,максимальна довжина хвилі дорівнює 780 нм, середина ширини спектру припадає на довжину хвилі 183,2 нм, співвідношення червоного спектру 27,7 %, індекс візуалізації (індекс передачі кольору) 99,7. Стосовно фотометричних параметрів, то можемо зазначити, що світловий потік дорівнює 1159 люмен.</p>
--	--

Рисунок 3.9 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу ВАТРА СДЛ 127

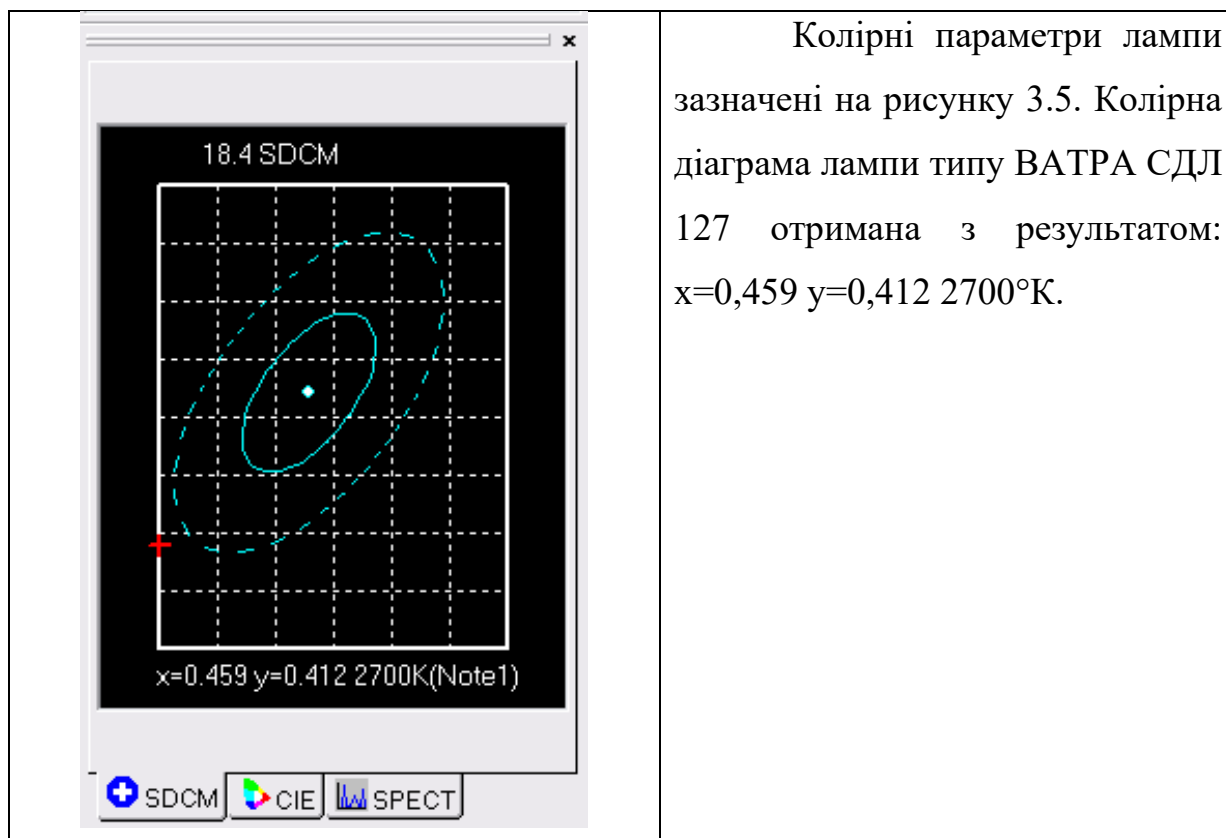


Рисунок 3.10 – Результати дослідження колірних параметрів джерела освітлення типу ВАТРА СДЛ 127

Ми зазначили світлотехнічні характеристики другого джерела освітлення.

3.1.3 Джерело освітлення типу GNL

Розглянемо третє джерело освітлення GNL щодо можливості вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної вимірювальної системи.

Світловий потік при куті 90° дорівнює 274,1 люмени, при куті 180° дорівнює 216,1 люмени, при 270° дорівнює 266,3 люмени, при 360° дорівнює 279,9 люмени. Як видно з отриманих показників, дана лампа має суттєво нерівномірний розподіл світлового потоку. Колірна температура при куті 90° дорівнює 8147°K , при куті 180° дорівнює 8039°K , при 270° дорівнює 8154°K , при 360° дорівнює 8049°K . Як видно з отриманих показників, дана лампа має зміни колірної температури, максимальна різниця між температурами при різних кутах становить 15°K .

Для лампи GNL наведено зображення спектральних характеристик при кутах розташування, що визначені дослідженням під різними кутами нахилу лампи 90°, 180°, 270°, 360°. Числові показники максимуму спектральної характеристики при 90° дорівнює 481,9 нм, 180° дорівнює 482,1 нм, 270° дорівнює 481,9 нм, 360° дорівнює 482,1 нм. З цих результатів видно, що кут нахилу лампи не впливає на максимум спектральної характеристики.

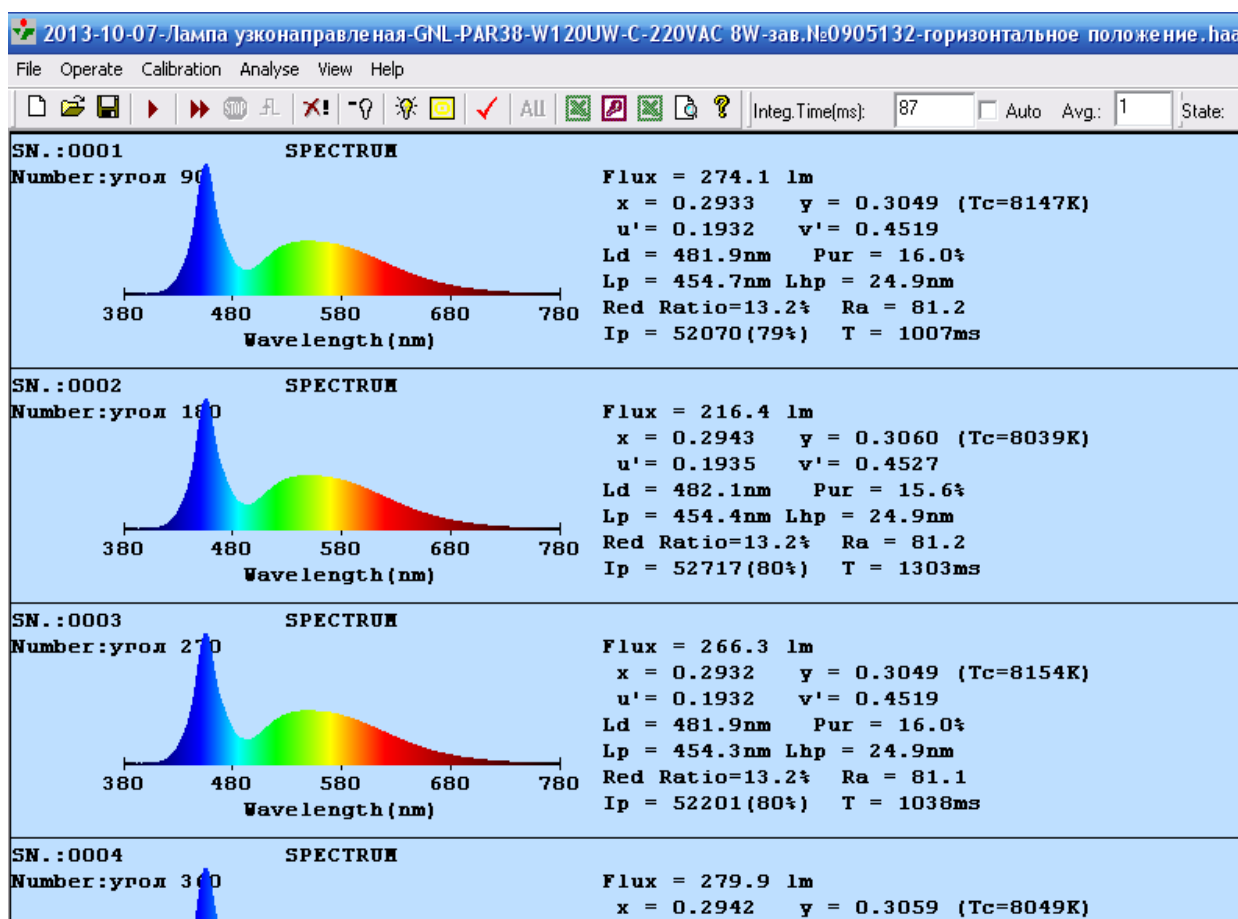


Рисунок 3.11 – Спектральні характеристики джерела освітлення типу GNL з зазначенням кута

SN.	Number	Flux(lm)	Fe(mW)	Eff.(lm/W)	x,y	u',v'	Tc(K)	Ip	
<input checked="" type="checkbox"/>	0001	γron 90	274.1	933.6	-	0.2933 0.3049	0.1932 0.4519	8147	52070(79%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0002	γron 180	216.4	735.5	-	0.2943 0.3060	0.1935 0.4527	8039	52717(80%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0003	γron 270	266.3	907.3	-	0.2932 0.3049	0.1932 0.4519	8154	52201(80%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0004	γron 360	279.9	952.2	-	0.2942 0.3059	0.1935 0.4526	8049	54383(83%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0005	γron 45	290.3	989.2	-	0.2933 0.3049	0.1932 0.4519	8145	56841(87%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0006	γron 135	269.8	917.5	-	0.2944 0.3059	0.1936 0.4527	8032	52389(80%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0007	γron 225	226.4	769.3	-	0.2945 0.3063	0.1935 0.4529	8019	52918(81%)
<input checked="" type="checkbox"/>	0008	γron 315	274.2	934.2	-	0.2932 0.3048	0.1932 0.4519	8152	52183(80%)

Рисунок 3.12 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу GNL (частина 1)

SN.	Number	Ip	Ld(nm)	Pur(%)	Lp(nm)	HW(nm)	Red Ratio(%)	Ra	
<input checked="" type="checkbox"/>	0001	угол 90	52070(79%)	481.9	16.0	454.7	24.9	13.2	81.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0002	угол 180	52717(80%)	482.1	15.6	454.4	24.9	13.2	81.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0003	угол 270	52201(80%)	481.9	16.0	454.3	24.9	13.2	81.1
<input checked="" type="checkbox"/>	0004	угол 360	54383(83%)	482.0	15.6	455.1	24.9	13.2	81.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0005	угол 45	56841(87%)	481.9	16.0	454.7	25.0	13.2	81.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0006	угол 135	52389(80%)	482.0	15.5	454.3	24.9	13.3	81.2
<input checked="" type="checkbox"/>	0007	угол 225	52918(81%)	482.1	15.5	455.1	24.9	13.2	81.1
<input checked="" type="checkbox"/>	0008	угол 315	52183(80%)	481.9	16.0	454.7	24.9	13.2	81.2

Рисунок 3.13 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу GNL (частина 2)

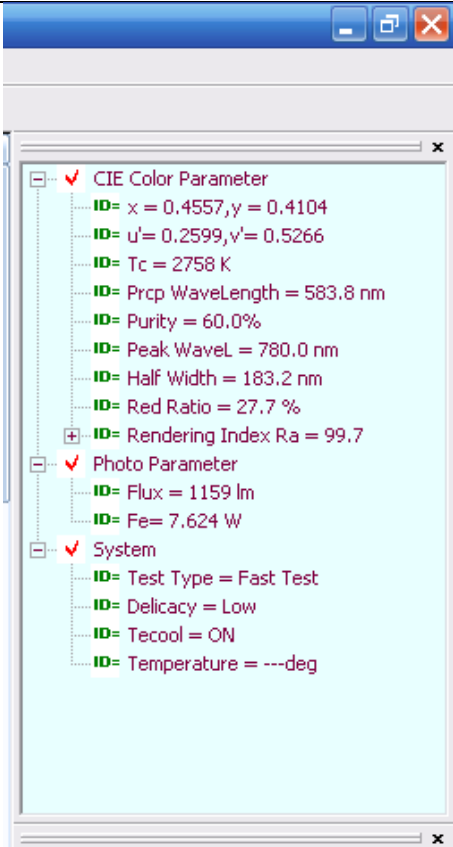
	<p>З огляду результатів наведених у вікні, що зображено на рисунку 3.14 можемо також додати, що чистота дорівнює 60 %,максимальна довжина хвилі дорівнює 780 нм, середина ширини спектру припадає на довжину хвилі 183,2 нм, співвідношення червоного спектру 27,7 %, індекс візуалізації (індекс передачі кольору) 99,7.</p> <p>Стосовно фотометричних параметрів, то можемо зазначити, що світловий потік дорівнює 1159 люмен.</p>
--	--

Рисунок 3.14 – Результати дослідження світлотехнічних характеристик джерела освітлення типу GNL

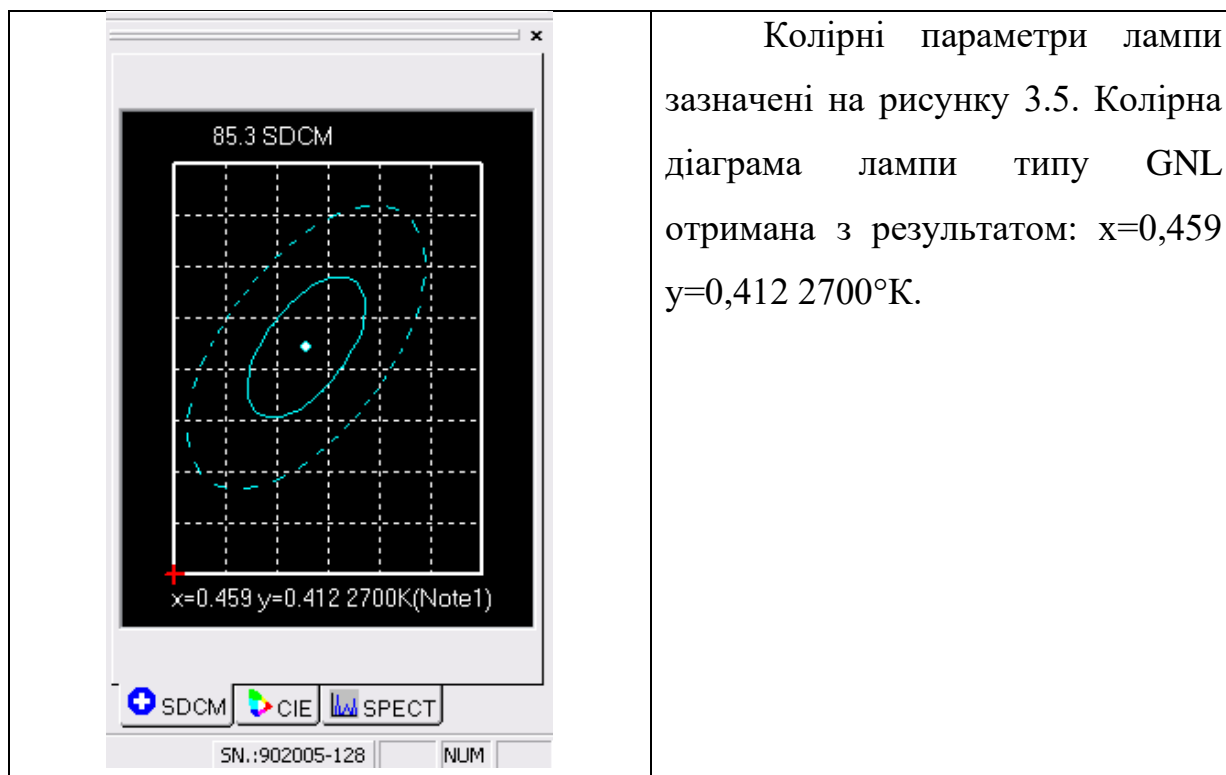


Рисунок 3.15 – Результати дослідження колірних параметрів джерела освітлення типу GNL

Ми зазначили світлотехнічні характеристики другого джерела освітлення.

3.3 Висновок до розділу 3

У третьому розділі магістерської дисертації ми провели аналітичне дослідження джерел випромінювання, з огляду можливого використання цих джерел у оптико-електронній вимірювальній системі. Розглянуто лампи: лампа вузьконаправлена-GNL-PAR38-W120UW-C-220VAC 8W-зав.№0905132, лампа ВАТРА-СДЛ-9-127-220-212-У2, лампа PROECO-Econom longer life-100W.

Ми навели світлотехнічні характеристик обраних джерел, а саме спектральні характеристики, результати дослідження колірних параметрів, максимуми спектральних характеристик, максимальні довжини хвилі, середні показники ширини спектрів, співвідношення червоних спектрів, індекси візуалізації (індекс передачі кольору), показники світлових потоків випромінювання при закріпленні ламп під різними кутами (90°, 180°, 270°, 360°).

360°), показники колірних температур ламп при закріпленні їх під різними кутами (90°, 180°, 270°, 360°).

Для зручності аналізу джерел освітлення у висновках наведемо зведену таблицю з деякими показниками ламп.

Таблиця 3.1 – Світлотехнічні характеристики джерел освітлення

Кут	Найменування								
	Лампа вузьконаправлена- GNL-PAR38-W120UW-C- 220VAC 8W- зав.№0905132			БАТРА-СДЛ-9-127-220- 212-Y2			PROECO-Econom longer life-100W		
	Flux(lm)	Tc(K)	Ra	Flux(lm)	Tc(K)	Ra	Flux(lm)	Tc(K)	Ra
0	279,9	8049	81,2	570,7	3178	83	1182	2760	99,7
45	290,3	8145	81,2	566,9	3176	83	1165	2760	99,7
90	274,1	8147	81,2	552,7	3172	83	1159	2758	99,7
135	269,8	8032	81,2	530,3	3166	83	1149	2756	99,7
180	216,4	8039	81,2	508,9	3162	82,9	1126	2756	99,7
225	226,4	8019	81,1	517,3	3167	82,9	1135	2756	99,7
270	266,3	8154	81,1	538,6	3174	83	1149	2758	99,7
315	274,2	8152	81,2	558,5	3177	83	1164	2760	99,7
360	279,9	8049	81,2	570,7	3178	83	1182	2760	99,7

Після аналізу яких можемо сказати, що для застосування в нашій оптико-електронній системі найбільше підходить лампа PROECO-Econom longer life-100W. Нас задовольняє показник передачі кольору у цієї лампи, він найвищий, максимум спектральної характеристики для всіх ламп майже однаковий, колірна температура у всіх ламп занижка. У рідного джерела освітлення цей показник дорівнює 2815 °K. А отже необхідно провести пошук нового джерела освітлення окрім зазначених у цьому розділі.

Пропонуємо провести дослідження світлодіодної лампи, за словами виробників вона повинна мати рівномірність розподілу випромінювання, колірну температуру, що задовольнить наші потреби.

Також хочемо зазначити, що даний розділ не внесені показники світлотехнічних характеристик рідного джерела освітлення – галогенної лампи. Ми це зробили для того, щоб не повторюватись, а навести ці матеріали одночасно при представлені нових, отриманих нами показників світлотехнічних параметрів світлодіодної лампи. Та паралельно провести порівняння світлотехнічних характеристик.

РОЗДІЛ 4 ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП

У цьому розділі ми зазначимо особливості експериментального устаткування для проведення експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик ламп, що ми плануємо провести. Такого устаткування на кафедрі нема. Ми проводили експериментальні дослідження на базі науково-дослідного центру випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Звісно до самих випробувань нас не допустили, адже ми не маємо кваліфікацію, проте наша робота полягала у проведенні розрахунків та аналітичному дослідженні при порівнянні світлотехнічних характеристик ламп.

4.1 Дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні GO-2000 з реалізацією гоніофотометричного методу

Дослідження світлотехнічних характеристик ламп проводили на устаткуванні типу GO-2000. Зазначимо, які ж саме характеристики отримано. Таким устаткуванням ми отримуємо об'ємну модель просторового розподілу сили світла світлодіодної лампи. Графічні зображення розподілу сили світла світлодіодної лампи, результати яскравості випромінювання у чотирьох площинах. Інформативною є планарна діаграма розподілу сили світла світлодіодної лампи.

Опишемо порядок виконання експериментальних досліджень. По-перше, необхідно закріпити рамку SN:1008009 посередині двох стійок, після чого на рамку закріплюємо об'єкт дослідження (лампу), що під'єднуємо до джерела живлення змінного струму та вимірювача потужності, а також запускаємо програмне забезпечення PF9811_1.13 для зняття електричних характеристик світлодіодної лампи.

Після чого необхідно виконати запис електричних характеристик вимірювальної системи типу GO-2000. У ввімкненому стані залишаємо нашу світлодіодну лампу на 1 годину. По закінченню цього часу необхідно розташувати лазер над поверхнею світлодіодної лампи та увімкнути його.

Хочемо зазначити, що необхідно повторно виконати запис електричних характеристик вимірювальної системи типу GO-2000, що визначаються після двох годин роботи устаткування. Ми також повинні зазначити площу поверхні світлодіодної лампи, задаємо параметр швидкості та конфігурації. Та виконуємо решту необхідних налаштувань для автоматичного зняття показників характеристик світлодіодної лампи. По закінченню години часу від моменту закінчення вимірювання світлотехнічних характеристик необхідно виконати зберігання результатів вимірювання з зазначенням часу проведення дослідження та назви об'єкту вимірювання (лампи).

До основних технічних характеристик дослідницького устаткування слід віднести: площини вимірювання типу В та типу С; похибка виставлення кута дослідницького устаткування дорівнює $\pm 0,1^\circ$; діапазон освітленості, що можна виміряти на устаткуванні від 0,0001 люкс до 200 кілолюкс.

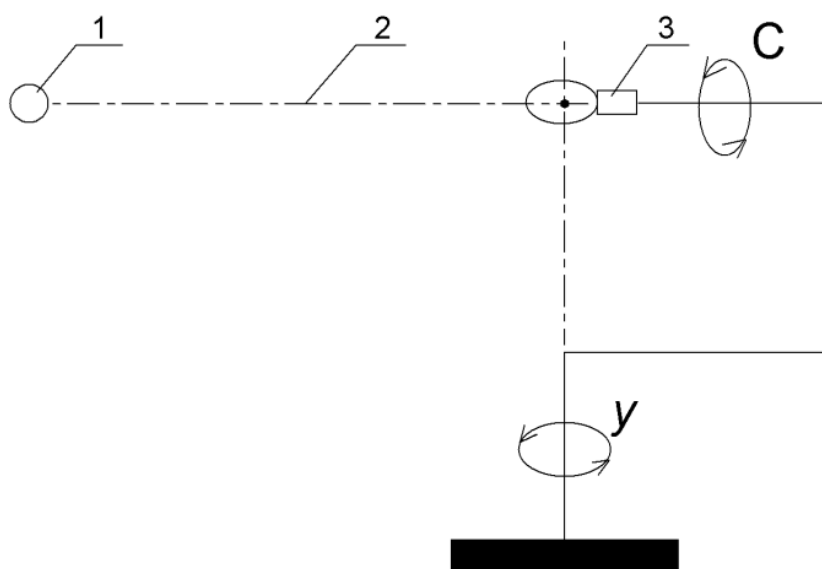


Рисунок 4.1 – Структурна схема для реалізації гоніофотометричного методу

Хочемо зазначити, що всі вимірювання світлотехнічних характеристик проходять у темних приміщеннях, з усуненням будь-яких можливих джерел освітлення. Наведемо приклад зображення

Наведемо приклад зображення розподілу сили світла одного з відомих джерел освітлення, яку отримано гоніофотометром наводимо на рисунку 4.2.

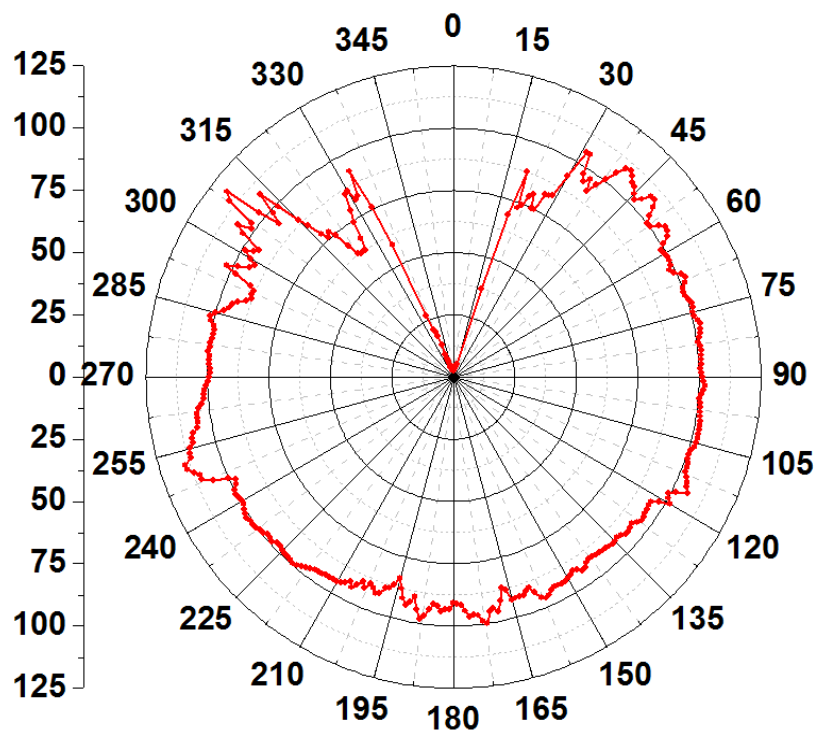


Рисунок 4.2 – Зображення розподілу сили світла одного з відомих джерел освітлення

Ми можемо зробити наступний висновок з розподілу сили світла, що наведено на рисунку 4.2, а саме, що розподіл нерівномірний. У площині від 30° до 325° присутній найнижчий рівень сили світла, існує декілька піків у площині 255° та площині 310° .

4.2 Дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні типу GO-2000 з реалізацією методу інтегруючої сфери

У дослідженні світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні типу GO-2000 реалізовано метод «інтегруючої сфери». Опишемо вузли дослідницької виміральної системи: інтегруюча сфера діаметром в один

метр, спектрорадіометр «НААС-2000». До основних технічних характеристик дослідницького устаткування слід віднести: спектр випромінювання, що відповідає довжинам хвиль від 380 до 780 нм, (хочемо зазначити, що точність визначення довжини хвилі спектрорадіометром становить $\pm 0,3$ нм); фотометрична лінійність устаткування дорівнює $\pm 0,3$ %; точність визначення координат колірності випромінювання лампи дорівнює $\pm 0,0015$; діапазон вимірювання корельованої колірної температури устаткування дорівнює від 1000 до 100000 К; діапазон визначення світлового потоку дорівнює від 10 до 20 000 люмен; час, що необхідний на проведення одного виміру дорівнює від 9 мілісекунд до 60 секунд.

Для забезпечення високої точності вимірювання світлотехнічних характеристик ламп методом інтегрованої сфери калібрування системи проводять наступним чином. По-перше, калібрують устаткування за довжиною хвилі (по спектру випромінювання). По-друге, калібрують по випромінюванню світлового потоку та корельованій колірній температурі. Отже, для проведення експериментальних досліджень щоразу необхідно два еталони: довжини хвилі та випромінювання. Розпишемо більш детально як відбувається калібрування, адже це прямий вплив на точність вимірювання.

Калібрують устаткування за довжиною хвилі (по спектру випромінювання) по еталонній натрієвій або ртутній лампі. Такий вибір співробітників науково-дослідного центру випробувань та діагностики джерел світла припав через їх властивість, а саме їх спектральні характеристики мають піки, для яких відомі показники фіксованих довжин хвиль.

Калібрування по випромінюванню світлового потоку та корельованій колірній температурі відбувається за рахунок еталонного джерела випромінювання, що відповідає порядку випромінювання лампи за технічним паспортом.

Похибка вимірювання світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні типу GO-2000 дорівнює ± 5 %. На рисунку 4.3 наведемо структурну схему для реалізації методу «інтегруючої сфери». Для реалізації

методу вимірювання, лампу 1 для якої проводимо дослідження характеристик, закріплюємо за допомогою кронштейну 3 у патрон 2. Для виставлення дослідного устаткування чітко над поверхнею лампи ми користуємось коригувальними ручками 4. До інтегруючої сфери під'єднано спектрорадіометр 6 кабелем 5. Обробка результатів вимірювання проходить з застосуванням комп'ютеру 7, на якому встановлено спеціалізоване програмне забезпечення.

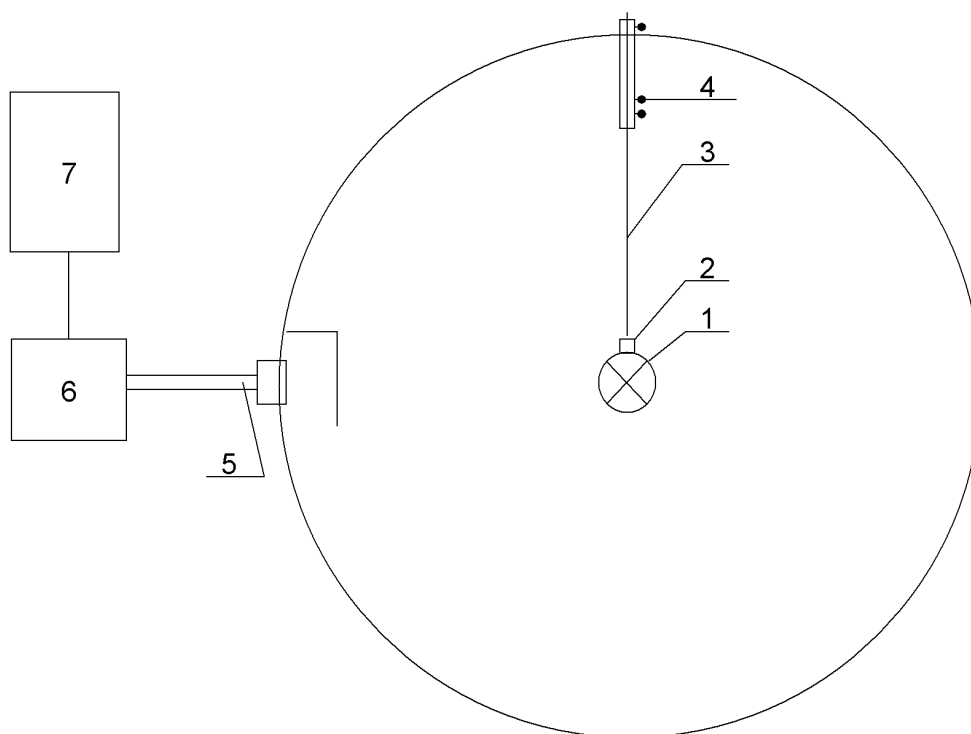


Рисунок 4.3 – Структурна схема для реалізації методу «інтегруючої сфери»

Наведемо один з прикладів графічного зображення результату вимірювання світлового потоку від часу на рисунку 4.4.

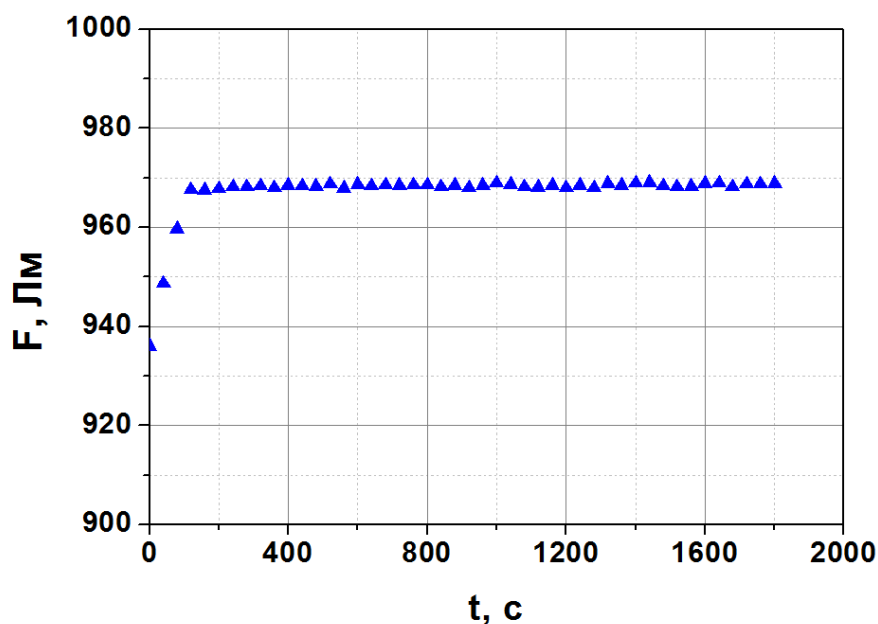


Рисунок 4.4 – Графічне зображення результату вимірювання світлового потоку від часу

З графічного зображення результату вимірювання світлового потоку від часу для галогенної лампи видно, що в перші хвилини роботи лампи відсутній стабільний потік випромінювання і сила світла не прийняла сталого характеру. Після трьох хвилин роботи лампи відбувається стабілізація сили випромінювання світла. А отже лампа виходить у робочий режим. Якщо використовувати таку лампу в оптико-електронній вимірювальній системі для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону, тоді необхідно вмикати систему, а вимірювання розпочинати виконувати після трьох хвилин роботи.

4.3 Висновки до розділу 4

У цьому розділі ми зазначили особливості експериментального устаткування для проведення експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик ламп, що ми плануємо провести. Такого устаткування на кафедрі нема. Через, що ми проводили експериментальні дослідження на базі науково-дослідного центру випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі Інституту фізики

напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Звісно до самих випробувань нас не допустили, адже ми не маємо кваліфікацію, проте наша робота полягала у проведенні розрахунків та аналітичному дослідженні при порівнянні світлотехнічних характеристик ламп.

Ми розглянули два основних методи для визначення світлотехнічних характеристик. По-перше це дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні GO-2000 з реалізацією гоніофотометричного методу та дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні типу GO-2000 з реалізацією методу інтегруючої сфери. До переваг методу з застосуванням інтегруючої сфери слід віднести простоту конструкції, а от до недоліків цього методу ми віднесемо необхідність у великій кількості еталонних джерел випромінювання.

До переваг гоніофотометричного методу слід віднести більшу точність визначення світлотехнічних характеристик у порівнянні з методом інтегруючої сфери. До переваг додамо той факт, що нема потреби у застосуванні еталонів випромінювання. Проте, існують і недоліки. Це збільшений час для проведення досліджень, адже для проведення дослідження випромінювання лампи розділяється на окремі площини, для яких визначають характеристик. Такий розподіл значно підвищує точність вимірювання.

РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДНОЇ ЛАМПИ

У даному розділі ми обґрунтуємо вибір світлодіодної лампи у якості джерела освітлення для оптико-електронної вимірювальної системи для визначення мікрометричних розмірів об'єктів та проведемо ряд експериментальних досліджень на устаткуванні GO-2000 й та з використанням методів описаних вище. А також у даному розділі наведемо порівняння світлотехнічних характеристик базового джерела освітлення, що входить до оптичного мікроскопу, а саме галогенної лампи та нового джерела освітлення, запропонованого нами – світлодіодної лампи.

5.1 Обґрунтування вибору світлодіодної лампи у якості джерела освітлення для оптико-електронної вимірювальної системи

Як видно, в останній час світлодіодне освітлення для оптико-електронних вимірювальних систем стає все більш популярним, воно має ряд переваг у порівнянні з галогенними лампами накаливання, включаючи енергоефективність, надійність, тривалий термін служби та високу стабільність сили світла. Проте й світлодіодні лампи мають недоліки, наприклад, білі світлодіодні лампи мають обмеження діапазону довжин хвиль. В роботі [3] авторами запропоновано методику для усунення застосування світлових фільтрів, які необхідно використовувати з галогенними джерелами випромінювання, що отримав назву передбачуваного квантово ефективного детектора. Реалізація запропонованого методу суттєво знижує розширену невизначеність до 0,26 % у порівнянні з традиційним методом застосування світлових фільтрів 0,42 %. При калібруванні вузла освітлення оптико-електронної вимірювальної системи з застосування світлодіодних ламп замість галогенних, помилка спектральної невідповідності зменшується в три рази [3].

Переваги застосування світлодіодних ламп описані в роботах [1-3] є показовими, проте іноді галогенні джерела освітлення є вбудованими в

оптико-електронну вимірювальну систему і не існує вибору, тоді необхідно проводити вимірювання при освітленні об'єкту галогенною лампою або вдосконалювати вузол освітлення. Стосовно основних світлотехнічних характеристик галогенних та світлодіодних ламп, можна зазначити, що в джерелах науково-технічної літератури, існують табличні данні з їх числовими показниками. Таку інформацію можна дізнатись на зворотній стороні пакування до лампи. Відомо, що виробники не проводять додаткових досліджень для ламп, що будуть застосовані у вимірювальних системах мікрометричного та нанометрового діапазонів та інших характеристик й параметрів об'єктів. Вони так само, як і звичайні лампи для освітлення приміщень, виготовлені за масового виробництва. Та чи можна довіряти виробникам масового виробництва джерел освітлення й використовувати лампи без проведення додаткових досліджень перш ніж їх застосовувати у вимірювальних системах та яка різниця в світлотехнічних характеристиках ламп, що виготовлені за різними технологіями.

5.2 Експериментальні дослідження світлотехнічних характеристик світлодіодної лампи

Як ми вже зазначали, ми не маємо змоги провести дане експериментальне дослідження на кафедрі. Тому ми провели пошук, де власне можна його провести. Тому експериментальні дослідження світлодіодної лампи ми проводили на спеціалізованому обладнанні науково-дослідного центру випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Зазначимо більш детально яке устаткування та прилади використовували для дослідження світлотехнічних характеристик лампи. По-перше, було застосовано матричний спектрорадіометр НААС-2000, по-друге, ми використовували комбінований прилад «ТКА-ПКА», до складу якого входять люксметр, пульсометр, яркомір; в-третє для проведення досліджень ми використовували гоніофотометр типу GO-2000; в-четверте для

фіксації випромінювання ми використовували приймач типу. Проте, це не весь перелік використаного устаткування, він може розширюватись в залежності від поставлених задач щодо дослідження спеціалізованих джерел.

Не нами було доведено невідповідність характеристик, що заявлені в технічному паспорті галогенної лампи JC (табл. 5.1) та світлодіодної лампи (табл. 5.2), встановленим експериментально. Ми їх наводимо для того, щоб мати змогу порівняти з тими ж характеристиками для світлодіодної лампи.

Таблиця 5.1 – Характеристики галогенної лампи JC

Характеристики галогенної лампи JC	Галогенна лампа	За технічним паспортом
Активна потужність споживання (P , Вт)	45,5	50
Світловий потік (F , лм)	435,6	950
Світлова віддача (E_v , лм/Вт)	9,6	-
Корельована колірна температура (CCT, К)	2815	3000
Індекс кольоропередачі (R_a)	99,9	-
Коефіцієнт пульсацій освітленості (K_p , %)	1	-

Таблиця 5.2 – Характеристики світлодіодної лампи

Характеристики галогенної лампи JC	Світлодіодна лампа	За технічним паспортом
Активна потужність споживання (P , Вт)	70,6	70
Світловий потік (F , лм)	5528	5500
Світлова віддача (E_v , лм/Вт)	78,3	-
Корельована колірна температура (CCT, К)	4315	4500
Індекс кольоропередачі (R_a)	89	-
Коефіцієнт пульсацій освітленості (K_p , %)	1	-

З результатів видно, що вказані в технічному паспорті, характеристики галогенної лампи JC не відповідають дослідженням, тому даний вид досліджень є обов'язковим для ламп перед їх застосуванням в оптико-електронній вимірювальній системі. А от світлотехнічні характеристики світлодіодної лампи майже не відрізняються за показниками, що свідчить про якість технології виготовлення.

Експериментально встановлено часову залежність світлового потоку, що дає можливість визначити стабільний робочий режим галогенної лампи JC (рис.1а), який настає через 18 хвилин від моменту її включення. Можна припустити, що в цей початковий період відбувається розігрів скляної колби і стабілізація термодинамічної рівноваги парів галогениду. Дослідження світлового потоку галогенної лампи JC з моменту включення вимірювальної системи, під час якого було отримано часову залежність світлового потоку визначено при напрузі живлення $U = 12V$ ($f = 50$ Гц) [4].

Також експериментально встановлено часову залежність світлового потоку для світлодіодної лампи. Дослідження проводилось 2 години, оскільки не відбувалось стабілізації показників. З отриманого графіку (рис. 5.1b) видно, що залежність має вид гіперболи.

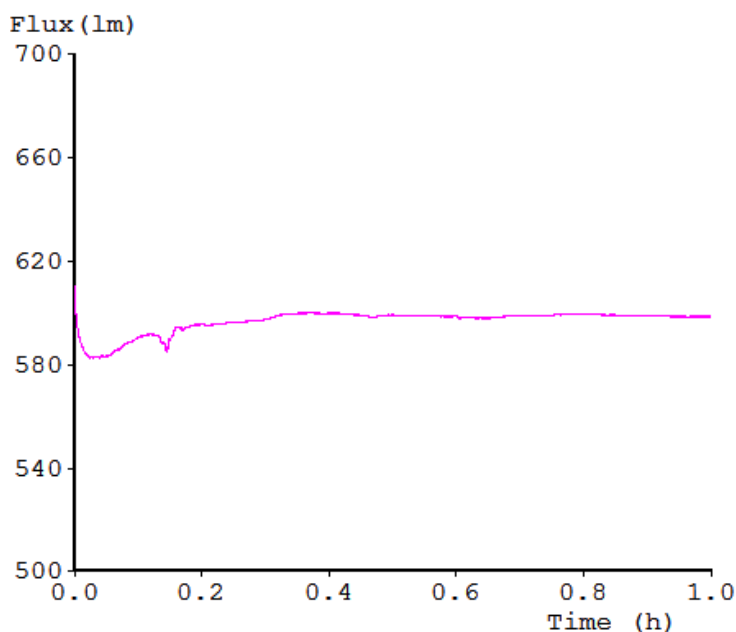


Рисунок 5.1 а – Часова залежність світлового потоку для галогенної лампи JC

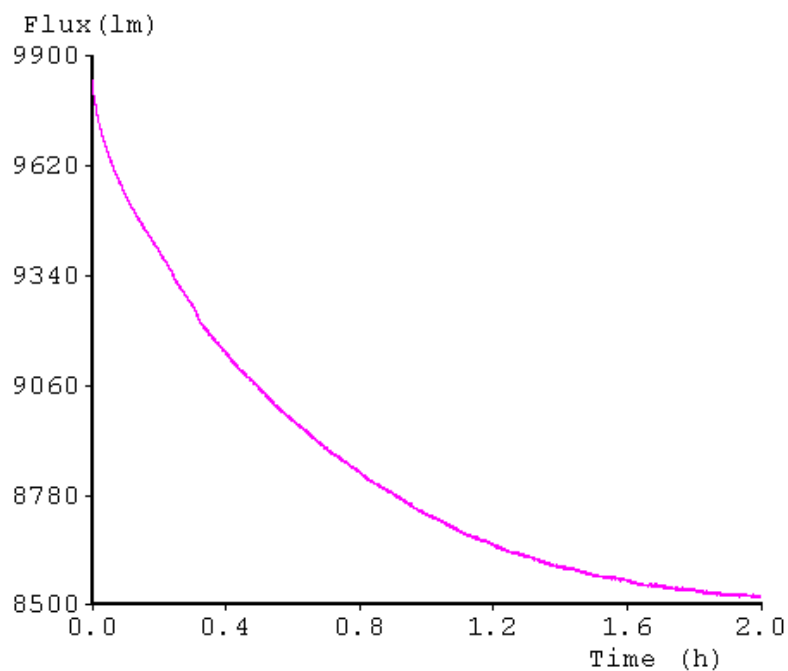


Рисунок 5.1 б – Часова залежність світлового потоку світлодіодної лампи

На графічних залежностях (рис. 5.2а, 5.2b) відображається залежність корельованої колірної температури від часу роботи, цей графік характеризує хід інтенсивності випромінювання галогенної лампи (рис. 5.2а,) й світлодіодної лампи (рис. 5.2 б), та їх спектральний склад відповідно.

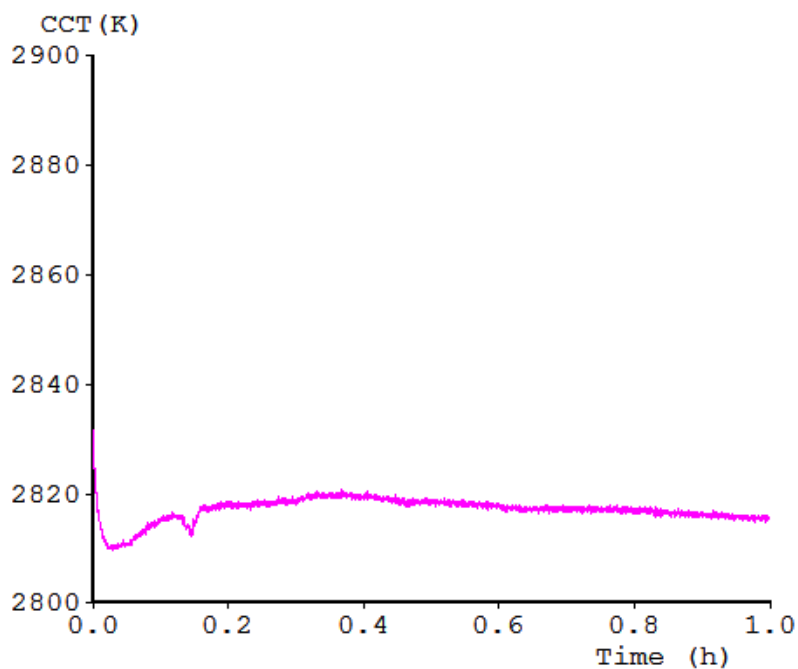


Рисунок 5.2 а – Залежність корельованої колірної температури від часу роботи галогенної лампи JC

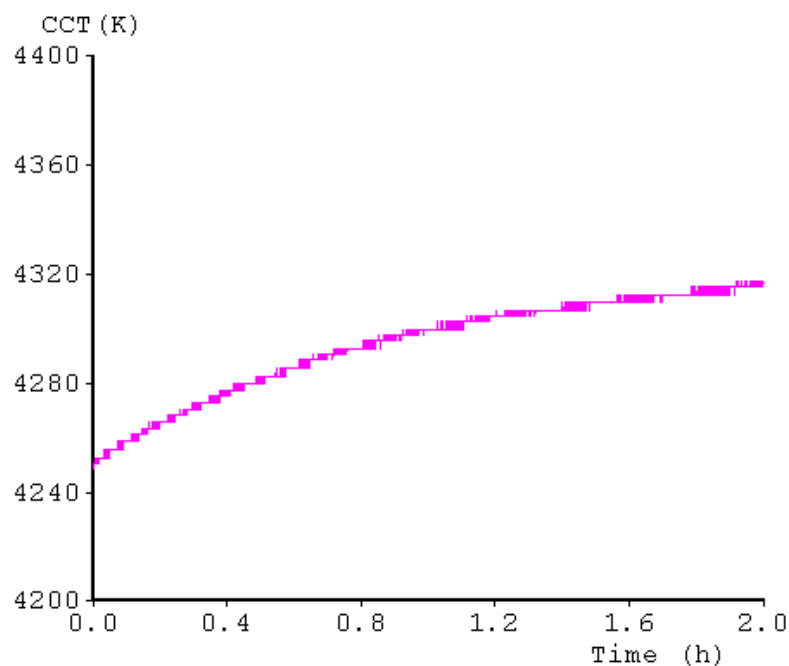


Рисунок 5.2 б – Залежність корельованої колірної температури від часу роботи світлодіодної лампи

Проведено дослідження зміни світлотехнічних параметрів галогенної лампи JC в момент вмикання та через одну годину роботи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Світлотехнічні параметри галогенної лампи JC в залежності від часу роботи

	U , В	I , А	P , Вт	F , у.о.	ΔF , %	CCT, К	Δ CCT, %	R_a
$t = 0$ хв.	12	4,09	49,1	616,1	2,92	2835	0,7	99,9
$t = 60$ хв.	12	3,79	45,5	598,1		2815		99,9

Аналіз результатів показав, що характеристики галогенної лампи JC в момент вмикання та через годину роботи різняться. Видно, що світловий потік змінився на 2,92 %, а корельована колірна температура на 0,7% це підтверджує, що галогенна лампа JC є досить стабільною в своїй роботі, окрім перших 0,3 години (18 хвилин) від початку роботи.

Таблиця 5.4 – Світлотехнічні параметри світлодіодної лампи в залежності від часу роботи

	U , В	I , мА	P , Вт	F , у.о.	ΔF , %	ССТ, К	Δ ССТ, %	R_a
$t = 0$ хв.	220	759	159,2	9847	-13,4	4248	1,6	77
$t=120$ хв.	220	698	147,2	8526		4315		78

Аналіз результатів дослідження світлодіодної лампи показав, що показники на початку вимірювання й наприкінці також різняться, як і у галогенної лампи. У відсотковому співвідношенні це дорівнює: діюче значення струму споживання – 8,7%; активна потужність споживання – 7,54 %; світловий потік – 13,4 %; корельовано колірна температура – 1,6 %. За визначеними показниками робимо висновок, що лампа є стабільною, навіть те, що світловий потік змінюється на 13,4 % є достатнім для проведення вимірювань на оптико-електронній системі та навіть потребує його зниження з застосуванням світлових фільтрів.

Оптико-електронна вимірювальна система може працювати з кольоровими телевізійними камерами, тобто проводити вимірювання кольорових об'єктів, для цього необхідні спектрофотометричні дослідження ламп. Така оцінка необхідна для визначення впливу освітлення на кольоропередачу об'єкту вимірювання. Дослідження проводили при напрузі живлення $U = 12\text{В}$ ($f = 50$ Гц) для галогенної лампи та при напрузі $U = 220\text{В}$ ($f = 50$ Гц) для світлодіодної лампи, результати досліджень наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Значення параметрів спектру випромінювання ламп

Світлотехнічні характеристики	Галогенна лампа	Світлодіодна лампа
Корельована колірна температура (CCT, К)	2815	4315
Індекс кольоропередачі (R_a)	99,9	78
Координати колірності (x, y)	0,451, 0,409	0,367; 0,367
Координати колірності (u', v')	0,258, 0,525	0,220; 0,495
Стандартне відхилення в урівнюванні кольорів (SDCM, 2700 К), (SDCM, 4000 К) відповідно	4,2	6,1
Максимальна довжина хвилі (L_p , нм)	780,0	450,3
Півширина піку випромінювання (L_{HP} , нм)	187,3	26,8

З розгляду результатів експериментальних досліджень видно, що освітлення галогенної лампи JC не впливає на кольоропередачу об'єкту дослідження оптико-електронної вимірювальною системою, які побудовані на кольорових телевізійних камерах. На рисунку 5.3 наведено спектральні характеристики ламп. З них можна зробити висновок, що спектральна характеристика галогенної лампи має максимум на довжині хвилі 780 нм, а спектральна характеристика світлодіодної лампи має два максимуми на довжині хвилі 450,3 нм та на довжині хвилі 605 нм.

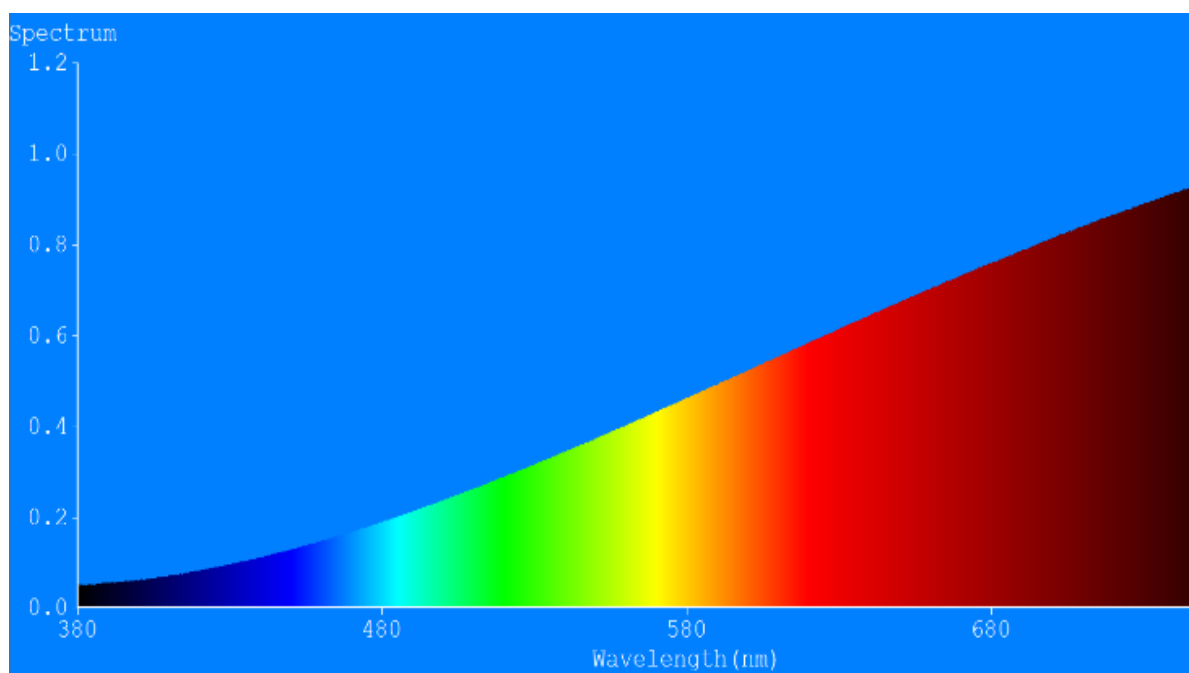


Рисунок 5.3 а – Спектральна характеристика галогенної лампи JC

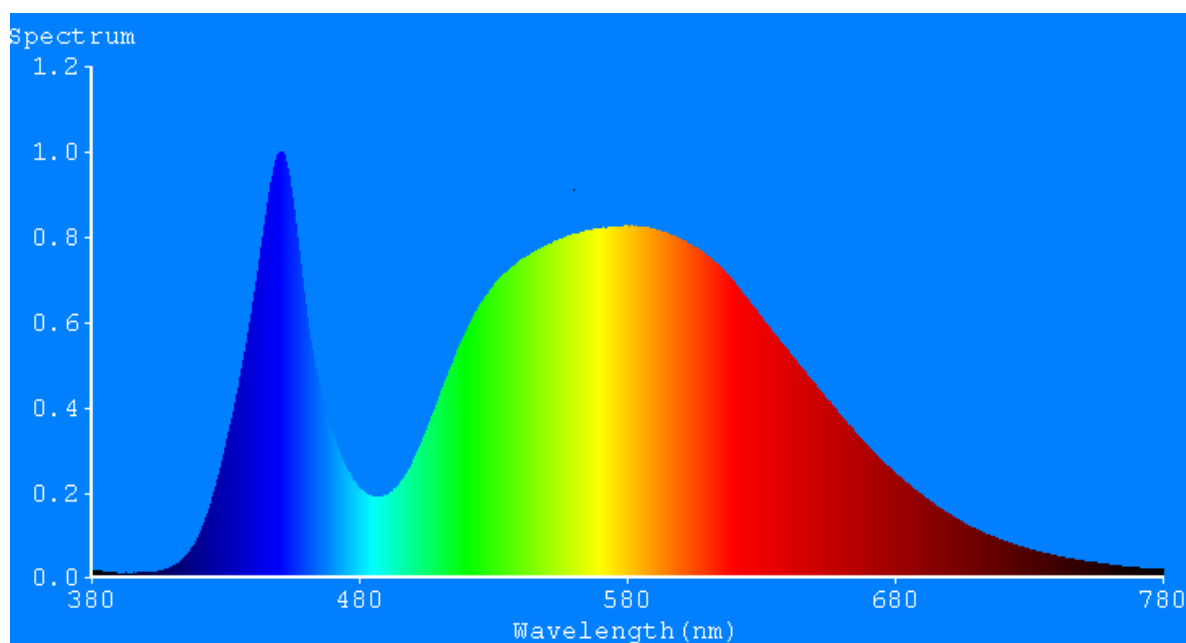


Рисунок 5.3 б – Спектральна характеристика світлодіодної лампи

Для визначення розподілу сили світла галогенної та світлодіодної ламп в полярних координатах було експериментально досліджено їх об'ємне зображення (рис. 5.4а, 5.4б) та діаграми розподілу (рис. 5.5а, 5.5б), що дозволило вивчити і запропонувати режим стабільного розподілу сили світла ламп у відсотках.

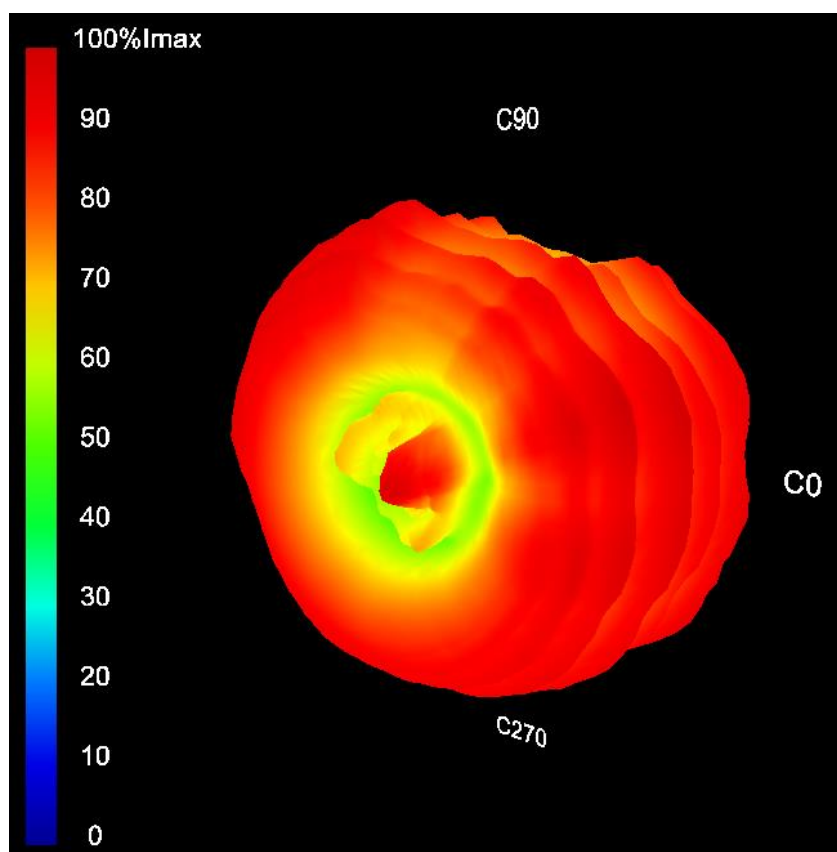


Рисунок 5.4 а – Тривимірна модель просторового розподілу сили світла галогенної лампи JC

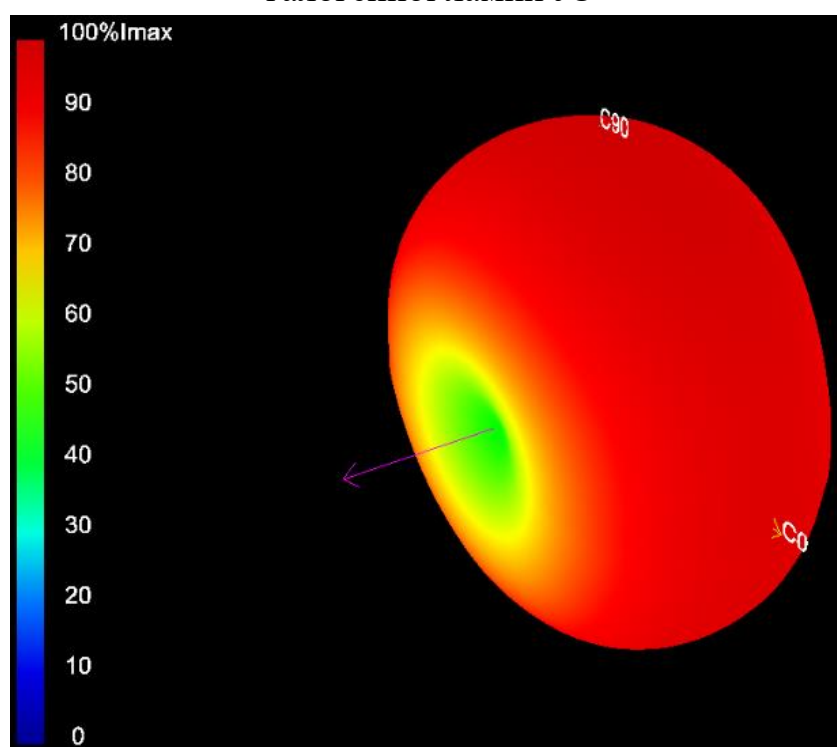


Рис. – 5.4 б Тривимірна модель просторового розподілу сили світла світлодіодної лампи

Тривимірна модель просторового розподілу сили світла дає змогу оцінити рівномірність розподілу випромінювання нашої лампи, іншими словами, вона відображає просторову щільність світлового потоку в різних напрямках навколишнього простору. Як видно з рис.5. 4 а в площині С 90 існує дефект, який впливає на рівномірність розподілу сили світла. Жодних дефектів та повну рівномірність розподілу сили світла бачимо на рис 5.4 б. Кількісні показники дефектів можемо отримати з діаграм сили світла (рис. 5.5а, 5.5б).

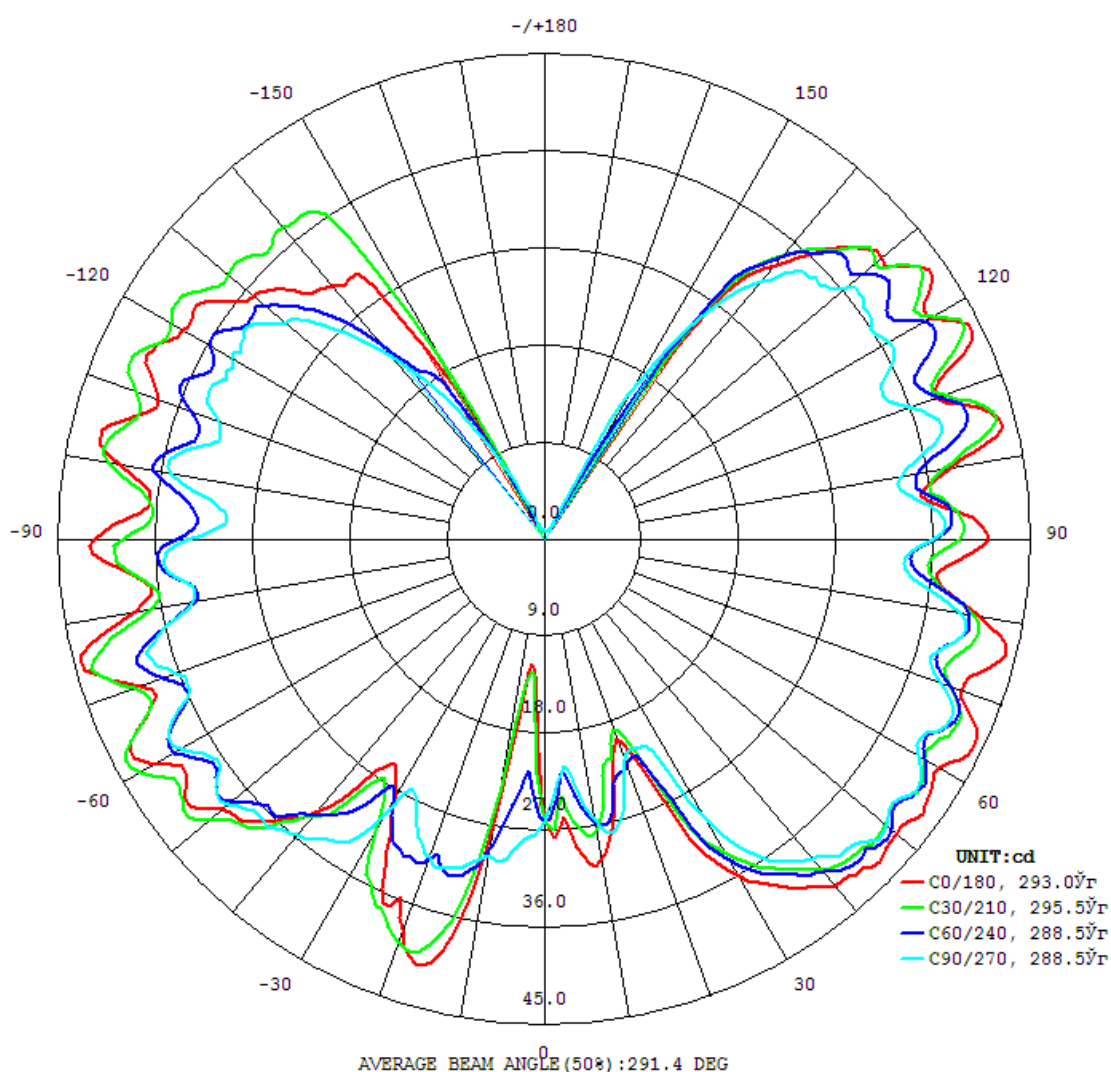


Рисунок 5.5 а – Діаграми розподілу сили світла галогенної лампи JC

З діаграми розподілу сили світла галогенної лампи JC встановлено, що в площині С90 значення його розподілу менше на 10 – 30 % від інших площин. Тому запропоновано проводити вимірювання при одному фіксованому куті галогенної лампи для уникнення впливу нерівномірності розподілу сили

світла. При заміні якої, необхідно проводити експериментальні дослідження характеристик лампи, що буде встановлюватись до оптико-електронної вимірювальної системи та визначити її просторове розташування в системі освітлення для забезпечення максимального світлового потоку на об'єкті вимірювання [4].

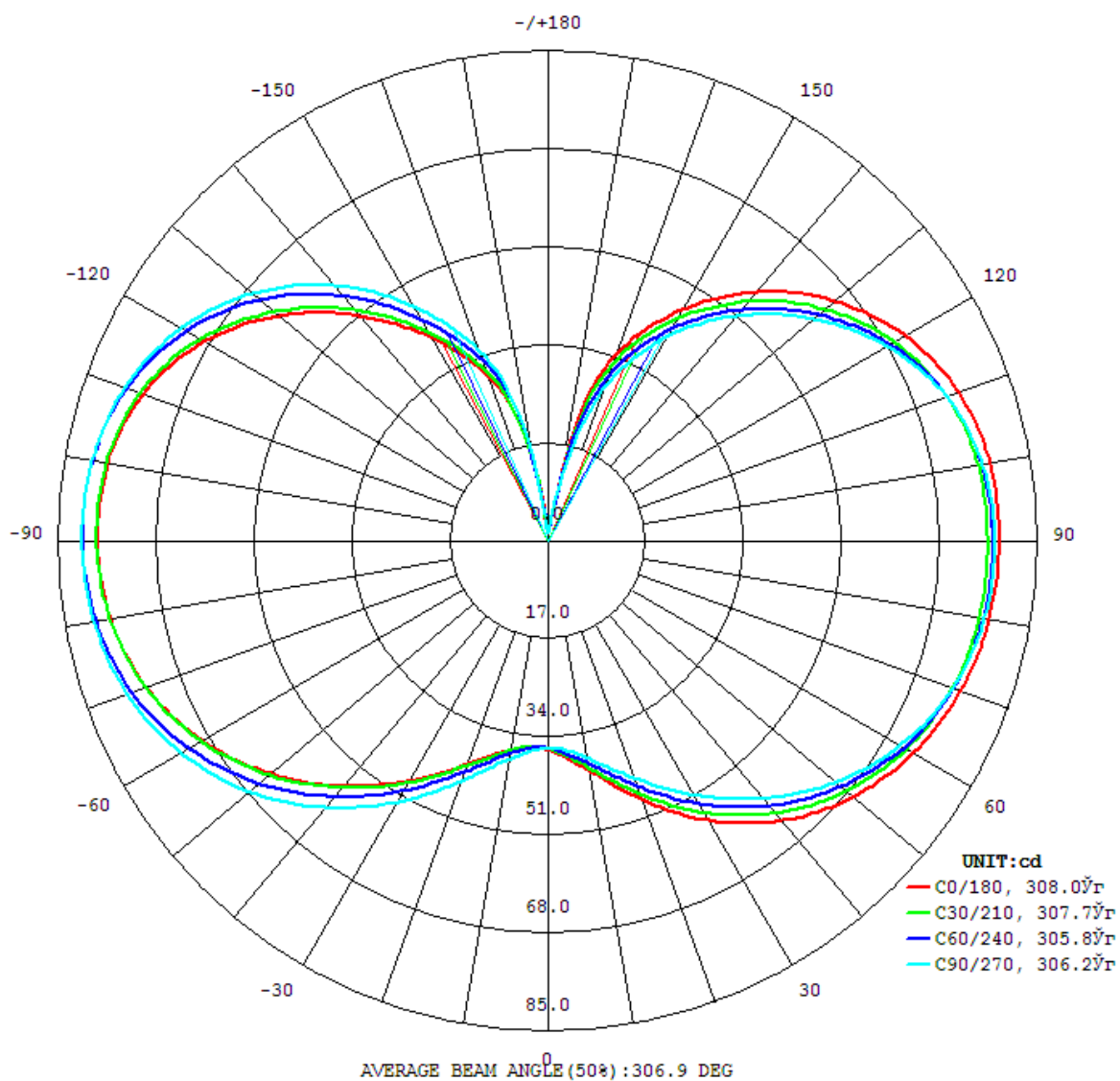


Рисунок 5.5 b – Діаграми розподілу сили світла світлодіодної лампи

З діаграми рис. 5.5b видно, що розподіл рівномірний, тому світлодіодна лампа не потребує додаткових умов при конструкційному налаштуванні у вимірювальній системі для забезпечення найкращих показників освітлення. Для відображення розподілу сили світла на площині об'єкту, наводимо результати дослідження розподілу сили світла в стабільному стані (рис. 5.6a,

5.6b), що також має назву планарної діаграми. Така діаграма дає можливість оцінити ступінь освітленості поверхні об'єкту вимірювання під джерелом освітлення.

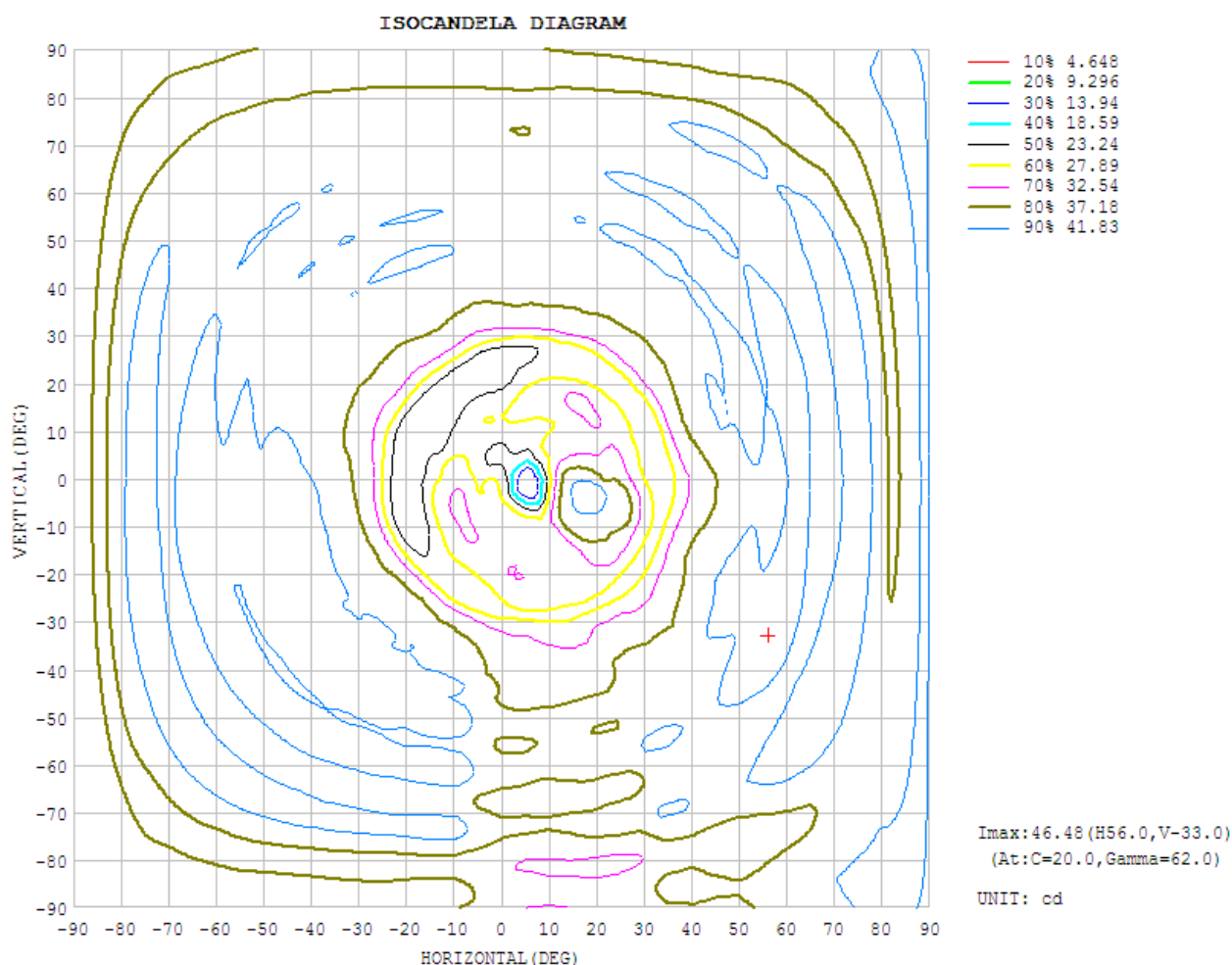


Рис. 5.6 а – Діаграма розподілу сили світла галогенної лампи JC в стабільному режимі галогенної лампи JC

Додаткові дослідження показали, що зменшення робочої напруги галогенної лампи вдвічі до 6 - 10 вольт, вперше після включення і востаннє перед вимиканням оптико-електронної вимірювальної системи на 0,3 години (18 хвилин) дозволяють збільшити термін експлуатації галогенної лампи JC в 1,5-2 рази за рахунок уникнення термічних ударів на вольфрамовій спіралі розжарення.

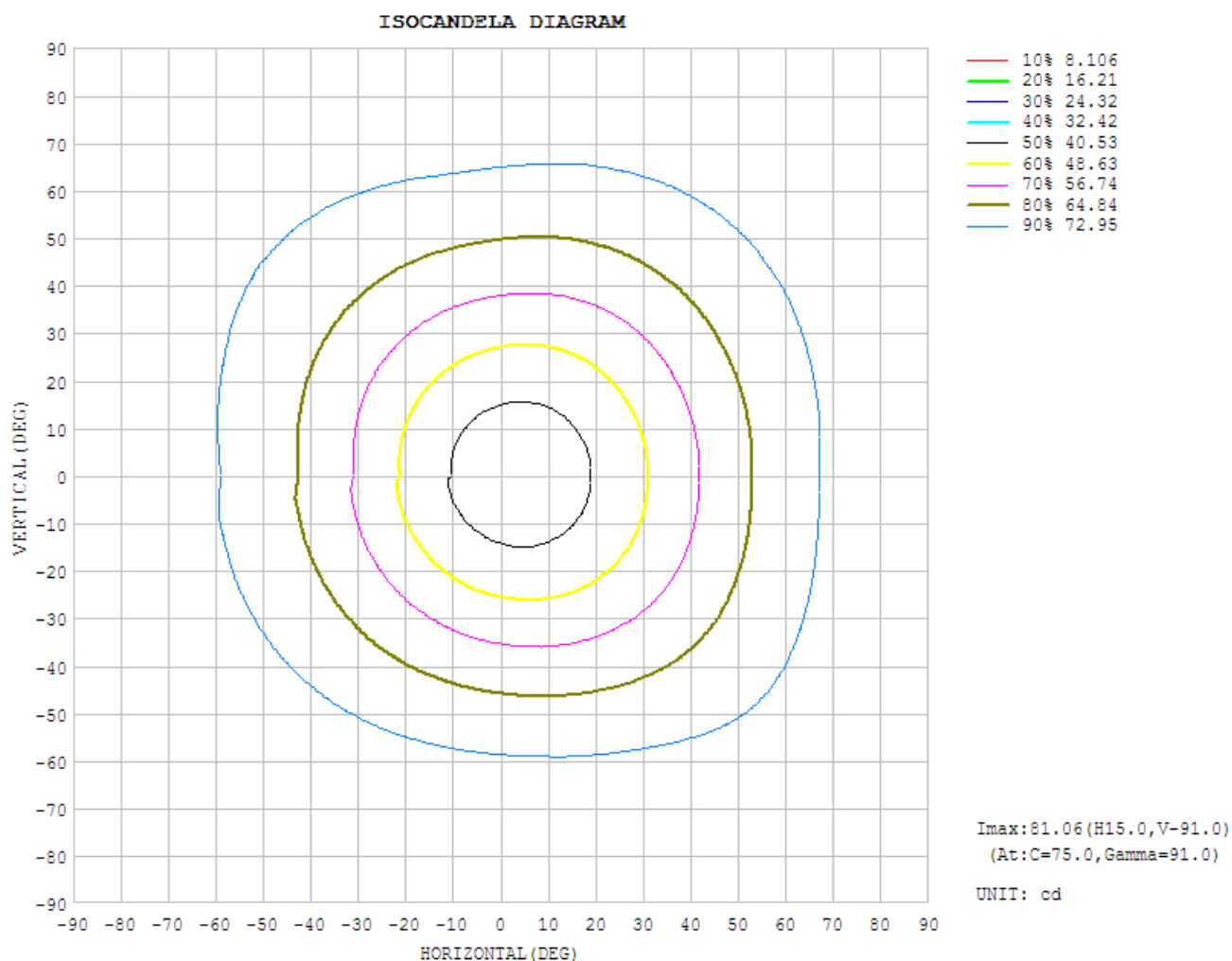


Рисунок 5.6 б – Діаграма розподілу сили світла галогенної лампи JC в стабільному режимі світлодіодної лампи

Продовження терміну використання лампи зменшує витрати на покупку нової лампи і трудомісткість необхідних операцій при проведенні експериментальних досліджень для вибору оптимальних умов освітлення в оптико-електронній вимірювальній системі.

5.3 Результати експериментального дослідження світлотехнічних характеристик світлодіодної лампи

Таким чином проведені дослідження показали, що режим, який забезпечує стабільність роботи галогенної лампи JC дорівнює настані після 18 хвилин від початку роботи оптико-електронної вимірювальної системи. Експериментально доведено невідповідність характеристик галогенної JC та

світлодіодної ламп заявленим в технічних паспортах тим, що встановлено експериментально. Визначено і проаналізовано діаграму розподілу сили світла галогенної лампи JC, що показала в площині C90 розподіл сили світла менше на 10 – 30 % від інших площин. Для усунення цього недоліку запропоновано проводити вимірювання при фіксованому куті галогенної лампи. Для світлодіодної лампи встановлено, що розподіл сили світла є рівномірним у всіх площинах.

Додаткове дослідження, спрямоване визначенню різниці точності вимірювання з застосуванням різних ламп, дозволило визначити як технологія виготовлення джерела освітлення впливає на точність вимірювальної системи. Для цього спроектовано оптико-електронну вимірювальну систему, за основний вузол якої взято оптичний мікроскоп у поєднанні з телевізійною камерою на ПЗЗ-матриці та розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. Об'єктом вимірювання системи обрано комплект штрихових мір абсолютного контрасту ГОСТ15114 – 78, що використовують у якості тестових об'єктів. Штрихова міра представляє собою скляну пластину з нанесеними на неї зображенням, що складається з розташованих за певною системою світлих штрихів на темному фоні, які відрізняються за шириною. Дослідження проводились на мірі № 3, поле 13 з комплекту мір ГОСТ15114 – 78 та отримано наступні результати вимірювання з довірчою ймовірністю $P=0,98$ при кількості вимірювань 100: точність вимірювання системи з галогенною лампою становить $20 \pm 0,96$ мкм, а для світлодіодної лампи $20 \pm 0,23$ мкм. Тобто ефективність світлодіодного джерела освітлення оптико-електронної вимірювальної системи є в чотири рази кращою ніж для галогенного освітлення.

5.4 Висновки до розділу 5

Нами виконано огляд та представлено результати експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик галогенної та світлодіодної ламп й обґрунтовано описано чому саме необхідно проводити модернізацію оптико-електронних вимірювальних систем, що працюють з галогенними джерелами освітлення та чому варто віддавати перевагу світлодіодним джерелам освітлення. І звісно перед початком застосування будь-якого джерела освітлення в оптико-електронній вимірювальній системі, необхідно проводити дослідження світлотехнічних характеристик ламп в спеціалізованих центрах, адже існує суттєва різниця від тих, що заявлено у технічних паспортах до них. Експериментальні дослідження з застосуванням штрихової міри абсолютного контрасту дозволила визначити, що ефективність застосування світлодіодного освітлення є вищою у порівнянні з галогенним освітленням.

Хочемо зазначити, що ми обрали у якості нового джерела освітлення світлодіодну лампу та порівнювали отримані результати світлотехнічних характеристик з джерелом, що є стандартним (базовим) для моделі оптичного мікроскопу. Отже нами проведено ряд експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик найпопулярнішого джерела освітлення - світлодіодної ламп. Аналіз результатів дослідження показав, що перед тим як застосовувати лампу масового виробництва виготовлену за будь-якою технологією у вимірювальній системі (оптико-електронна система) необхідно після спеціалізованого дослідження у центрах випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем. Адже зазначені світлотехнічні характеристики від виробників не відповідають тим, що визначено дослідним шляхом.

Хоча характеристики світлодіодної лампи мали не суттєві відмінності на відміну від галогенної лампи. Вплив на точність вимірювання оптико-електронної вимірювальної системи зазначених джерел освітлення, ми визначили з застосуванням штрихової міри абсолютного контрасту та зробили висновок, що ефективність застосування світлодіодного освітлення є вищою у

порівнянні з галогенним освітленням у чотири рази при побудові вимірювальної системи за тим, що описується в дисертації.

Додаткове дослідження, спрямоване визначенню різниці точності вимірювання з застосуванням різних ламп, дозволило визначити як технологія виготовлення джерела освітлення впливає на точність вимірювальної системи. Для цього спроектовано оптико-електронну вимірювальну систему, за основний вузол якої взято оптичний мікроскоп у поєднанні з телевізійною камерою на ПЗЗ-матриці та розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. Об'єктом вимірювання системи обрано комплект штрихових мір абсолютного контрасту ГОСТ15114 – 78, що використовують у якості тестових об'єктів. Штрихова міра представляє собою скляну пластину з нанесеними на неї зображенням, що складається з розташованих за певною системою світлих штрихів на темному фоні, які відрізняються за шириною. Дослідження проводились на мірі № 3, поле 13 з комплекту мір ГОСТ15114 – 78 та отримано наступні результати вимірювання з довірчою ймовірністю $P=0,98$ при кількості вимірювань 100: точність вимірювання системи з галогенною лампою становить $20 \pm 0,96$ мкм, а для світлодіодної лампи $20 \pm 0,23$ мкм. Тобто ефективність світлодіодного джерела освітлення оптико-електронної вимірювальної системи є в чотири рази кращою ніж для галогенного освітлення.

РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ МІКРОМЕТРИЧНОГО ДІАПАЗОНУ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ОСВІТЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ»

6.1 Опис ідеї проекту

В даній дисертаційній роботі проводилось дослідження, яке пов'язане з оптико-електронною вимірювальною системою, її складових вузлів та особливостей налаштування. З самої теми дисертації «Підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону шляхом вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної системи» видно, що шляхом підвищення точності вимірювання геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні є вдосконалення джерела освітлення.5.1.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 - Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Вдосконалення оптико-електронної вимірювальної системи	Застосування при вимірюванні та мікрометричних розмірів мікрометричного діапазону	Підвищена точність перевірки геометричних розмірів об'єкту
		Зручний інтерфейс
		Пришвидшення отримання результату вимірювання.

Отже, пропонується вдосконалена оптико-електронна вимірювальна система для неруйнівного контролю біологічних об'єктів. Відрізняється від інших підвищеною точністю перевірки геометричних розмірів зображення об'єктів, а саме трихінел та пришвидшеним отриманням результату.

Результати дослідження аналогічних технологій оптичного контролю за Біологічними об'єктами занесено до табл. 1.

Таблиця 1 Морфологічна карта

Основні параметри	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ше	3-ше	4-ше	5-ше
Вимірювання	Гетеродинний прийом	Оптичний приймач	Когерентний оптичний приймач	Оптоволоконний приймач	фотодетектор
точність вимірювання	78% (погана точність)	82% (помірна точність)	92% (хороша точність)	98,5%(дуже хороша точність)	99,2% (висока точність)
швидкість обробки даних	LDA	BT Mod	SVM	LDA та SVM	Інші
інтерактивність даних	Метод інтегруючої сфери	Метод перетинів	Монте-Карло	Геніометричний метод	
дистанційного управління	За рахунок матеріалу	За рахунок способу фіксації	За рахунок матеріалу та способу фіксації	Інші	

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Same Project	Taners BUIDS	Тест-о-прог			
1.	Вартість програмного забезпечення	36000	39000	42000	38000	-	+	
2.	Надійність...	3 роки	1 рік	1 рік	2 роки	-		+
3.	Визнана марка	Не існує	Не існує	Не існує	Не існує	-	+	
4.	Затрати на виробництво	Низькі	Середні	Високі	Середні	+	-	-
5.	Торгова марка	немає	немає	є	немає	-	+	-

Порівнявши свій проект з проектами конкурентів було визначено перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності. Серед ключових переваг над проектами конкурентів слід відзначити надійність та зменшені затрати на виробництво.

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 6.3.

Основний метод діагностики м'яса це післязабійна компресорна трихінелоскопія м'яса свиней, диких кабанів та ведмедів. Для цього необхідні трихінелоскоп або мікроскоп з невеликим збільшенням і компресорій.

Дослідження 24 зрізів м'язової тканини від кожної туші - дуже трудомістка й виснажлива справа, що знижує зорову пильність і призводить інколи до помилок. На ринку, де протягом короткого часу робітнику ветеринарної служби на лабораторному мікроскопі потрібно дослідити на трихінельоз окремо не одну тушу, можливі помилки у діагностиці захворювання.

Для трихінелоскопії застосовують трихінелоскоп-мікроскоп без мікрометричного гвинта, що дає 50 – 70 кратне збільшення, або звичайний мікроскоп з таким самим збільшенням.

На теперішній час наявними технологіями контролю м'яса є оптичний мікроскоп і лаборанти в санітарно епідеміологічних станціях досліджують зразки м'яса умовно кажучи «на око». Наше вдосконалення оптичного мікроскопу телевізійною цифровою камерою дозволяє створити потужну інформаційну вимірювальну систему, що має ряд переваг: точність вимірювання, швидкодія, збереження результатів вимірювання з фото у архіві. Основним розвитком стартап- проекту є вдосконалення старого устаткування СЕС до рівня сучасних іноземних приладів, що нажаль не в змозі придбати державні установи.

Таблиця 6.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Вдосконалення алгоритму цифрової обробки зображень біологічних об'єктів (трихітел) та методу вимірювання	Застосування нових алгоритмів обробки цифрового зображення та вдосконаленого методу вимірювання біологічних об'єктів (трихітел)	Мова програмування вже розроблена і є в наявності	Доступно
		Вдосконалення готових алгоритмів шляхом їх компонування та старого методу вимірювання біологічних об'єктів (трихітел)	Мова програмування вже розроблена і є в наявності	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Застосування нових алгоритмів обробки цифрового зображення та вдосконаленого методу вимірювання біологічних об'єктів (трихітел)				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект полягає в розробці нових алгоритмів для конкретних цілей та вдосконаленого методу діагностування біологічних об'єктів (трихітел) у м'ясі свинини. В наявності вже розроблена мова програмування та є у вільному доступі.

Також нами складено календарний план-графік реалізації проекту за формою, наведеною в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 Календарний план-графік реалізації стартап-проекту

№ з/п	Етапи реалізації	Період реалізації проекту						
		0-й рік				1-й рік	2-й рік	3-й рік
		1-й кв.	2-й кв.	3-й кв.	4-й кв.			
1.	Проведення НДДКР	+	+	+	+	+		
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	+	+	+	+	+		
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту	+	+	+	+	+		
4.	Створення компанії	+	+	+	+			
5.	Придбання нематеріальних активів, отримання дозвільних документів тощо	+	+	+	+	+		
6.	Придбання й оренда земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	+	+					
7.	Придбання обладнання, устаткування та пристроїв	+	+	+	+	+		
8.	Передвиробничі маркетингові дослідження	+						
9.	Приймально-здавальні випробування	+	+	+	+			
10.	Пусконаладжувальні роботи			+	+	+		
11.	Освоєння проектних потужностей	+	+	+				
13.	Придбання матеріальних ресурсів	+	+	+	+	+	+	+
13.	Запуск виробництва				+	+	+	+
14.	Продаж продукції					+	+	+

5.2. Визначено потребу у основних засобах (земельних ділянках, будівлях, приміщеннях, спорудах, передавальних пристроях, обладнанні), необхідних для реалізації проекту, та умови їх використання за формою, наведеною в табл. 5.2-5.3.

Таблиця 5.2 Планова потреба у виробничих площах

№ з/п	Тип приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Кількість одиниць	Площа, кв. м	Вимоги до приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Умови надання	Вартість, тис. грн./місяць
1.	Офісне приміщення	1	26	Відповідно до ДСТУ	Оренда	4

Площа виробничого приміщення (S_{np}) визначається за наведеною формулою:

$$S_{np} = \sum_{i=1}^m S_i \cdot O_i k_f, \quad (6.1)$$

де m – кількість операцій технологічного процесу виготовлення виробів;

S_i – габарити обладнання для виконання i -ї операції, кв. м;

O_i – кількість обладнання для виконання i -ї операції, одиниць;

k_f – коефіцієнт, що враховує потребу у додатковій площі ($k_f = 2,0-3,0$);

- *складському приміщенні*, площа якого може бути наближено визначена в розмірі 30-50% від площі виробничого приміщення;
- *офісному приміщенні*, площа якого може бути прийнята в межах 20-30 кв. м.

Таблиця 5.3 Планова потреба у виробничому обладнанні та устаткуванні

№ з/п	Вид обладнання (устаткування, пристрою)	Тип (модель)	Виробник обладнання (устаткування, пристрою)	Терміни постачання	Вартість, тис. грн.
1.	3D принтер	лазерний друк	Приватний підприємець	1-1.5 місяці	20
2.	Персональний комп'ютер (1 шт)	ноутбук	Lenovo	1 тиждень	17.5
3.	Програмне забезпечення	Windows, Microsoft office, Google Earth	Microsoft, Dassault Systèmes	3 місяці	3.3
4.	Інформаційні ресурси	Наукові розробки і т.д.	Дослідницькі групи і т.д.	1 рік	15
Разом:		—	—	—	55,8

Вартість обладнання може бути визначена наступним чином [2]:

- *вартість технологічного обладнання* – за формулою:

$$K_{mo} = \sum_{i=1}^m O_i C_i, \quad (6.2)$$

де m – кількість операцій технологічного процесу виготовлення продукції;

O_i – кількість одиниць обладнання для виконання i -ї операції;

C_i – ціна одиниці обладнання для виконання i -ї операції.

- *вартість допоміжного обладнання* може бути визначена наближено на рівні приблизно 30% від вартості технологічного обладнання;
- *вартість інвентарю* також може бути визначена наближено на рівні 10-15% від вартості технологічного обладнання.

5.3.Обсяг витрат на залучення нематеріальних активів, необхідних для реалізації стартап-проекту наведеною в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 Планова вартість нематеріальних активів

№ з/п	Вид активів	Активи, що можуть бути віднесені до даного виду	Вартість, тис. грн.
1.	Права користування природними ресурсами	(право користування надрами, іншими ресурсами природного середовища, геологічною та іншою інформацією про природне середовище)	-
2.	Права користування майном	(право користування земельною ділянкою відповідно до земельного законодавства, право користування будівлею, право на оренду приміщень тощо)	14
3.	Права на комерційні позначення	(права на торговельні марки (знаки для товарів і послуг), комерційні (фірмові) найменування тощо)	-
4.	Права на об'єкти промислової власності	(право на винаходи, корисні моделі, промислові зразки, сорти рослин, породи тварин, компонування інтегральних мікросхем, комерційні таємниці, у тому числі ноу-хау, захист від недобросовісної конкуренції)	80
5.	Авторське право та суміжні з ним права	(право на літературні, художні, музичні твори, комп'ютерні програми, фонограми, відеограми, передачі (програми) тощо)	15
6.	Інші активи	(право на провадження діяльності, використання економічних та інших привілеїв тощо)	-

5.4. Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту (в натуральних показниках) по роках наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту

Вид продукції	Одиниця виміру	Обсяги виробництва за період		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
Прилад для вимірювання гео параметрів вулканічних середовищ	шт	15	25	40

5.5. Обсяг витрат на забезпечення стартап-проекту матеріальними ресурсами та комплектуючими по роках (виходячи з планового обсягу виробництва продукції, визначеного в табл. 5.5) за формою, наведеною в табл. 5.2.

Таблиця 5.6 Планова потреба у матеріальних ресурсах та комплектуючих

№ з/п	Вид ресурсу	Одиниця виміру	Витрати на одиницю продукції в натуральних показниках	Вартість на одиницю продукції, тис. грн.	Вартість за плановим обсягом виробництва за період, тис грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Комплектуючі	шт					
1.1.	Процесор			0.7	10.5	17,5	28
1.2.	Мишка оптична			0.1	1.5	2.5	4
1.3.	Клавіатура			0.2	3	5	8
1.4.	безперебійник			0.25	3.75	6.25	10
1.5.	блок живлення			0.3	4.5	7.5	12
1.6.	кабель			0.1	1.5	2.5	4
Всього комплектуючих		6	—	1.45	24.75	41.25	66

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє передбачити можливі проблеми з виходом на ринок, пошуком ключових клієнтів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	47000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Не виявлено
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Формування єдиної системи показників якості продукції, методи її випробування та контролю; уніфікація вимірювань і позначень
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

На теперішній час всі держані санітарно-епідеміологічні станції мають старе устаткування оптичних мікроскопів, тому ми вважаємо, що наша розробка дозволить за невеликі кошти придбати наш прилад. І як потенційних покупців ми врахували приблизну кількість вдоконалених мікроскопів. Такий показник був розрахований за добутку кількості державних підприємств помножених на середнє значення наявних оптичних мікроскопів, що потребують вдосконалення. Основних гравців три, адже не тільки ми пропонуємо схожі системи. Проте наш прилад є найдешевшим та ми пропонуємо програмне забезпечення.

Так як ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт робимо висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Підвищення точності вимірювання цифрового зображення дефекту трубопроводу	Фірми, які займаються контролем якості деталей чи виробів; промислові підприємства	Відмінності полягають в застосування різного програмного забезпечення та відповідних стандартів	<ul style="list-style-type: none"> - Легке налаштування - Можливість адаптації до різних програмних пакетів

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

В даній таблиці ми визначили сегменти ринку на якому будемо пропонувати наш продукт, визначили фактори продукту, які формують поведінку клієнтів відносно нашого продукту та їхні основні вимоги до продукту.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно мати комп'ютер з покращеними характеристиками, а також працювати з такими програмами повинні кваліфіковані фахівці, для того, щоб підключити цифровий фільтр до програмного пакету. Також, бажано за певних виявлених помилок своєчасно відправляти логи (звіт) по роботі алгоритму (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Наявність конкурентів	Втрата клієнтів; втрата прибутку	Дослідження продукту конкурента та вдосконалення системи в цілому; можливе зниження вартості продукту
2.	Венчурна компанія	Венчурні проекти не потребують оформлення звітних паперів: ризик є ризик. В результаті відсутні докази створення інтелектуальних активів і виникнення прав на них	-
3.	Внутрішні конфлікти	Можлива наявність конфліктів за відсутністю нормального регулювання відносин і розподілу інтелектуальних прав	Перегляд політики формування обов'язків між працівниками
4.	Технічні проблеми	Можливі збої в роботі з програмним забезпеченням	Перегляд програмного коду та налагодження системи

В таблиці 1.6 ми визначили фактори загроз, які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться програмне забезпечення	Необхідно проводити тренінги по освоєнню нових бібліотек чи систем
2.	Економічні	Підтримка інноваційного виробництва	Підвищення/зниження ціни на продукт
3.	Політико-правові	Можуть вплинути на куплю/продажу товару	Зміна прав власності

В таблиці 4.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Рівень конкурентної боротьби	Національний	Взяття за базис один з наших алгоритмів та його доопрацювання
За галузевою ознакою	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту в певних галузях
За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення продукту разом зі зменшенням вартості на нього

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому. Ми виявили основні фактори загроз, а також можливі реакції на них. Ознайомилися з певними можливостями, які допомагають вийти з цієї ситуації. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку показав, що є певний ряд загроз зі сторони конкурентів, але вихід з цієї ситуації також є.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку присутні 3 конкуренти, які надають аналогічні послуги	Серед потенційних можуть виступати лише іноземні фірми	Постачальникам є власне наша фірма	Фірми, які займаються контролем якості деталей біологічних об'єктів (трихінел), СЕС	Аналогів товарів подібного напрямку немає
Висновки	Аналізування конкурентного ринку та вдосконалення нашого продукту	На даний момент потенційних конкурентів немає	-	Відносно низька вартість та покращена якість товару	Розробка нових напрямків застосування для вилучення можливих випадків появи товарів-аналогів

Проаналізувавши таблицю 4.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Постійне вдосконалення вже розроблених алгоритмів	Наявність логів (звітів) по завершенню процедури дозволяє відразу ж виявити можливі помилки/збої та усунути їх
2	Впровадження нової технології комбінування алгоритмів	Це нова система, яка покращує алгоритм цифрової фільтрації
3	Висока якість	Тестування алгоритмів на робочих системах
4	Технічна підтримка	Можливість зворотного зв'язку дозволяє своєчасно вирішувати можливі проблеми
5.	Ціна	Відносно низька вартість на товар, що є привабливою пропозицією

В таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Hope Dimension»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Hope Dimension						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	11	+						
2	Велика кількість постачальників	8				+			
3	Висока якість	19	+						
4	Технічна підтримка	15		+					
5.	Ціна	16						+	

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.12 - SWOT- аналіз стартап проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>За рахунок хорошої технічної підтримки ми забезпечуємо високу надійність та закріплюємо свої позиції на ринку. Завдяки високій якості продукту з'являються нові клієнти</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Необхідність в наявності більш кращої системи для роботи з алгоритмом (велика кількість ОЗП та хороша частота процесору)</p>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення продаж; 2. Отримання державних замовлень на отримання послуг; 3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; 4. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. 2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм. 3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу; 4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку; 5. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.

В таблиці 4.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проекту, а також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	0,5 року
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	-

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Пояснюється готовністю організації піти на додаткові витрати, що пов'язані з впровадженням нових алгоритмів	Залежить від темпу розвитку економіки	Низька	Середні перешкоди
2	Фірми, які займаються контролем якості мікрооб'єктів			Низька	Середні перешкоди
Які цільові групи обрано: Фірми, які займаються контролем якості мікрооб'єктів, СЕС Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із фірмами, які займаються контролем якості мікрооб'єктів					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для розрахунку концентрації пилу та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Висока якість продукту, наявність технічної підтримки	Стратегія диференціації

В таблиці 1.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку. До сильних сторін відносимо підвищену якість товару, наявність технічної підтримки, відносно низьку вартість на товар.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні, конкуренти на ринку з'явилися у 2013му році	Передбачається розвиток ринку шляхом заохочення до наших товарів	Цього не буде, адже, ми застосовуємо абсолютно нову технологію компонування алгоритмів	Позбавлення конкуренції

В таблиці 4.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торговельний проект.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Потреба в якісному алгоритмі для обробки зображення, направленому в вузькоспеціалізованому колі відносно типу освітлення на програмного забезпечення	Комплексна перевірка алгоритму на високоякісній системі	Постійне вдосконалення алгоритмів обробки. Технічна підтримка та оновлення

Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Алгоритм для цифрової обробки зображення. Сюди слід віднести спрощене подання алгоритму, підвищену швидкість розрахунків та постійне вдосконалення шляхом зниження кількості похибок		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін обслуговування	Нм	Е
	3. Унікальність виконання	Нм	Тх
	4. Вартість обслуговування	Нм	Вр
	Якість: відповідність потреб клієнтів		
	Пакування: програмне забезпечення в електронному вигляді.		
	Марка: Норе Dimension		
III. Товар із підкріпленням	До продажу споживачу надається базовий варіант програмного пакету для разового тестування		
	Після продажу споживач завдяки технічній підтримці отримує постійне оновлення алгоритму під затребувані цілі		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування коду (отримання сертифікату про інтелектуальну власність)			

В таблиці 4.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 1.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	48000-52000 грн.	48000-55000 грн.	Загальний прибуток фірми	44000-48000 грн.

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів (загальний прибуток залежить від організації ринкового процесу фірми). За отриманими даними встановлена верхня та нижня межа на наш товар.

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Покупка товару один раз з діючою ліцензією на встановлений термін, продовження ліцензії після її закінчення шляхом оновлення програмного пакету	Відправлення пакету покупцю з відповідними інструкціями по застосування та налаштуванню	Канал збуту нульового рівня (виробник, який безпосередньо продає товар)	Мережа інтернет

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через мережу інтернет.

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук вирішення конкретних проблем, пов'язаних з використанням необхідного програмного забезпечення та вдосконалення методу вимірювання	Мережа інтернет	Спеціалізовані сайти; технічні канали	Повідомити про наявність нового рішення більш вузьких проблем та наявність постійного оновлення	Необхідність в якісній та кількості оцінці об'єктів цифрового зображення? Ми маємо рішення вашого завдання

Результатом даного підпункту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від

цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

Реклама слогана. Слоган - це коротка, але ємна фраза, яка приваблює увагу і що являє собою якийсь девіз фірми або основну думку, що характеризує ту чи іншу послугу.

Команда для проекту:

1. Менеджер - глава команди, генератор ідей, зустріч з інвесторами, пошук шляхів розвитку проекту.

2. PR-менеджер - реклама, «розкрутка» сайту.

3. HR-менеджер - пошук персоналу.

4. Фінансист - все, що стосується фінансового менеджменту й ОЦІНКИ ризиків.

5. Юрист - юридичні консультації з харчування оформлення документів и Контрактів.

6. Логіст - все, що стосується перевезень і доставки продукту Замовнику.

Для нашого проекту Обираємо слоган «Більше інформації»

6.7 Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що у даного проекту на даний момент є хороша можливість ринкової комерціалізації.

Санітарні епідеміологічні станції, щ контролюють якість м'ясної продукції наявними технологіями, а саме звичайним оптичним мікроскопом радянського виробництва.

Наше вдосконалення оптичного мікроскопу новим вузлом освітлення дозволяє створити потужну інформаційну вимірювальну систему, що має ряд переваг: точність вимірювання, швидкодія, збереження результатів вимірювання з фото у архіві. Основним розвитком стартап- проекту є

вдосконалення старого устаткування СЕС до рівня сучасних іноземних приладів, що нажалі не в змозі придбати державні установи. Оскільки, на теперішній час всі державні санітарно-епідеміологічні станції мають старе устаткування оптичних мікроскопів, тому ми вважаємо, що наша розробка дозволить за невеликі кошти придбати наш прилад. І як потенційних покупців ми врахували приблизну кількість вдоконалених мікроскопів. Такий показник був розрахований за добутку кількості державних підприємств помножених на середнє значення наявних оптичних мікроскопів, що потребують вдосконалення. Основних гравців три, адже не тільки ми пропонуємо схожі системи. Проте наш прилад є найдешевшим та ми пропонуємо програмне забезпечення.

У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. На ринку вже є присутні аналоги продукту, але бар'єр входження на ринок не є високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- Вдосконалити систему комбінування алгоритмів;
- Організувати рекламну компанію;
- Перед продажем надавати тестові варіанти програмного забезпечення для того, щоб клієнт переконався в працездатності нашого товару;

Працювати над покращенням продукту, постійно оновлюючи його.

ВИСНОВОК

В даній магістерській дисертаційній роботі проведено аналітичне дослідження будови оптико-електронної вимірювальної системи, її складових вузлів та особливостей налаштування. З самої теми дисертації «Підвищення точності вимірювання геометричних розмірів мікрометричного діапазону шляхом вдосконалення вузла освітлення оптико-електронної системи» видно, що шляхом підвищення точності вимірювання геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні є вдосконалення джерела освітлення. Для кращого розуміння роботи оптико-електронної системи ми розглянули закони випромінювання, на яких базується їх робота. У цьому розділі запропоновано узагальнену структурну схему вимірювальної системи. Для її конструювання було обрано оптичний мікроскоп, що відповідає у поєднанні з об'єктивом за оптичну складову вимірювальної системи; стосовно електронної складової вимірювальної системи, то ми обирали телевізійну камеру з CCD матрицею (ПЗЗ матрицею); комп'ютер з спеціалізованим програмним забезпеченням.

Як ми зазначали раніше, джерело освітлення об'єкту в цій системі є нестабільним при перших хвилинах ввімкнення до живлення, і тому існує потреба у прогріванні вимірювальної системи 18 хвилин. Також мають зміни світлотехнічні характеристики галогенної лампи після 1 години роботи, відбуваються зміни світлового потоку майже на 3 % та змінюється колірна температура майже на 1 %.

Тому пропонуємо вдосконалити оптико-електронну вимірювальну систему для визначення геометричних розмірів новим вузлом освітлення, а за основу обрати світлодіодну лампу. Та перш ніж вводити її у конструкцію вузла освітлення, необхідно провести експериментальні дослідження світлотехнічних характеристик, бо може вийти так, що вона не буде мати кращих показників світлотехнічних характеристик у порівнянні з «рідною» галогенною лампою.

Ми визначили основні відомі методи визначення світло-технічних характеристик джерел освітлення у другому розділі дисертації. В розділі нами проаналізовано методи «інтегруючої сфери» та «гоніофотометричний» для визначення світлового потоку освітлювальних систем з різним типом світлового розподілу. Звісно, ми розглядали методи світового досвіду визначення цих характеристик та вітчизняного досвіду, адже ми планували проведення експериментальних досліджень власного джерела випромінювання, що відповідало б світовому рівню.

З огляду переваг та недоліків кожного з методів, можемо зробити висновок, що для нас краще використовувати гоніофотометричний метод визначення світлового потоку освітлювальних систем, адже він дає вищу точність у порівнянні з методом інтегруючої сфери, навіть не зважаючи, що дане дослідження займе більше часу. Ми не можемо допустити закласти інструментальну похибку, для того випадку, якщо проводити дослідження методом інтегруючої сфери. Ми вдосконалюємо вузол освітлення для оптико-електронної вимірювальної системи, що має проводити вимірювання дефектів у мікрометричному діапазоні, а це означає, що похибка такого вимірювання може становити нанометри. І витрачений час на дослідження, дозволить нам отримати вищу точність вимірювання геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні.

У третьому розділі ми навели приклади трьох джерел освітлення з зазначенням світлотехнічних характеристик. Ми зазначили спектральні характеристики для кожного джерела освітлення.

У третьому розділі магістерської дисертації ми провели аналітичне дослідження джерел випромінювання, з огляду можливого використання цих джерел у оптико-електронній вимірювальній системі. Розглянуто лампи: лампа вузьконаправлена-GNL-PAR38-W120UW-C-220VAC 8W-зав.№0905132, лампа ВАТРА-СДЛ-9-127-220-212-У2, лампа PROECO-Econom longer life-100W.

Ми навели світло-технічні характеристик обраних джерел, а саме спектральні характеристики, результати дослідження колірних параметрів, максимуми спектральних характеристик, максимальні довжини хвилі, середні показники ширини спектрів, співвідношення червоних спектрів, індекси візуалізації (індекс передачі кольору), показники світлових потоків випромінювання при закріпленні ламп під різними кутами (90° , 180° , 270° , 360°), показники колірних температур ламп при закріпленні їх під різними кутами (90° , 180° , 270° , 360°).

Після аналізу яких можемо сказати, що для застосування в нашій оптико-електронній системі найбільше підходить лампа PROECO-Econom longer life-100W. Нас задовольняє показник передачі кольору у цієї лампи, він найвищий, максимум спектральної характеристики для всіх ламп майже однаковий, колірна температура у всіх ламп занижка. У рідного джерела освітлення цей показник дорівнює 2815°K . А отже необхідно провести пошук нового джерела освітлення окрім зазначених у цьому розділі.

Пропонуємо провести дослідження світлодіодної лампи, за словами виробників вона повинна мати рівномірність розподілу випромінювання, колірну температуру, що задовольнить наші потреби.

Також хочемо зазначити, що даний розділ не внесені показники світлотехнічних характеристик рідного джерела освітлення – галогенної лампи. Ми це зробили для того, щоб не повторюватись, а навести ці матеріали одночасно при представленні нових, отриманих нами показників світлотехнічних параметрів світлодіодної лампи. Та паралельно провести порівняння світлотехнічних характеристик

У четвертому розділі ми зазначили особливості експериментального устаткування для проведення експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик ламп, що ми плануємо провести. Такого устаткування на кафедрі нема. Через, що ми проводили експериментальні дослідження на базі науково-дослідного центру випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі Інституту фізики

напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України. Звісно до самих випробувань нас не допустили, адже ми не маємо кваліфікацію, проте наша робота полягала у проведенні розрахунків та аналітичному дослідженні при порівнянні світлотехнічних характеристик ламп.

Ми розглянули два основних методи для визначення світлотехнічних характеристик. По-перше це дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні GO-2000 з реалізацією гоніофотометричного методу та дослідження світлотехнічних характеристик ламп на устаткуванні типу GO-2000 з реалізацією методу інтегруючої сфери. До переваг методу з застосуванням інтегруючої сфери слід віднести простоту конструкції, а от до недоліків цього методу ми віднесемо необхідність у великій кількості еталонних джерел випромінювання.

До переваг гоніофотометричного методу слід віднести більшу точність визначення світлотехнічних характеристик у порівнянні з методом інтегруючої сфери. До переваг додамо той факт, що нема потреби у застосуванні еталонів випромінювання. Проте, існують і недоліки. Це збільшений час для проведення досліджень, адже для проведення дослідження випромінювання лампи розділяється на окремі площини, для яких визначають характеристик. Такий розподіл значно підвищує точність вимірювання.

У четвертому та п'ятому розділах ми навели матеріали, щодо побудови нами оптико-електронної вимірювальної системи. Свою вимірювальну систему для визначення геометричних розмірів мікрометричного діапазону, ми спроектували на базі оптичного мікроскопу, телевізійної камери, що закріплювалась до тіла оптичного мікроскопу з застосуванням перехідників (тубусів). Отримане, CCD матрицею телевізійної камери, випромінювання від об'єкту дослідження геометричних розмірів, надходило до персонального комп'ютеру з необхідним програмним забезпеченням, що дозволило нам за випромінюванням визначати розміри об'єкту або дефекту об'єкту. Хочемо зазначити, що програмне забезпечення ми в магістерській дисертації не розробляли, а користувались готовим програмним продуктом. Адже такого

завдання перед нами не стояло. Більшість наших зусиль було спрямовано на дослідження джерела освітлення. Проте, хочемо зазначити, що після отриманих результатів щодо дослідження світло-технічних характеристик нового джерела освітлення, ми провели ряд вимірювань геометричних розмірів у мікрометричному діапазоні. Щоб порівняти точність вимірювання мікрометричних геометричних розмірів. Для цього ми проводили вимірювання на еталонному зразку лінійних геометричних розмірів ГОСТ 15114-78 Даний комплект мір використовують встановлення роздільної здатності телескопічних систем, кутові геометричні розміри ми не вимірювали.

Хочемо зазначити, що ми обрали у якості нового джерела освітлення світлодіодну лампу та порівнювали отримані результати світлотехнічних характеристик з джерелом, що є стандартним (базовим) для моделі оптичного мікроскопу. Отже нами проведено ряд експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик найпопулярнішого джерела освітлення - світлодіодної ламп. Аналіз результатів дослідження показав, що перед тим як застосовувати лампу масового виробництва виготовлену за будь-якою технологією у вимірювальній системі (оптико-електронна система) необхідно після спеціалізованого дослідження у центрах випробувань і діагностики надпровідникових джерел світла та освітлювальних систем. Адже зазначені світлотехнічні характеристики від виробників не відповідають тим, що визначено дослідним шляхом.

Хоча характеристики світлодіодної лампи мали не суттєві відмінності на відміну від галогенної лампи. Вплив на точність вимірювання оптико-електронної вимірювальної системи зазначених джерел освітлення, ми визначили з застосуванням штрихової міри абсолютного контрасту та зробили висновок, що ефективність застосування світлодіодного освітлення є вищою у порівнянні з галогенним освітленням у чотири рази при побудові вимірювальної системи за тим, що описується в дисертації.

Додаткове дослідження, спрямоване визначенню різниці точності вимірювання з застосуванням різних ламп, дозволило визначити як технологія виготовлення джерела освітлення впливає на точність вимірювальної системи. Для цього спроектовано оптико-електронну вимірювальну систему, за основний вузол якої взято оптичний мікроскоп у поєднанні з телевізійною камерою на ПЗЗ-матриці та розроблено спеціалізоване програмне забезпечення. Об'єктом вимірювання системи обрано комплект штрихових мір абсолютного контрасту ГОСТ15114 – 78, що використовують у якості тестових об'єктів. Штрихова міра представляє собою скляну пластину з нанесеними на неї зображенням, що складається з розташованих за певною системою світлих штрихів на темному фоні, які відрізняються за шириною. Дослідження проводились на мірі № 3, поле 13 з комплекту мір ГОСТ15114 – 78 та отримано наступні результати вимірювання з довірчою ймовірністю $P=0,98$ при кількості вимірювань 100: точність вимірювання системи з галогенною лампою становить $20 \pm 0,96$ мкм, а для світлодіодної лампи $20 \pm 0,23$ мкм. Тобто ефективність світлодіодного джерела освітлення оптико-електронної вимірювальної системи є в чотири рази кращою ніж для галогенного освітлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Vladimir S. Peretiagin, Artem A. Alekhin, Valery V. Korotaev, Simulation of multicomponent light source for optical-electronic system of color analysis objects, Proc. SPIE 9889, Optical Modelling and Design IV, 98891K (27 April 2016); doi: 10.1117/12.2227645; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2227645>
2. Kevin W. Houser, Minchen Wei, Aurélien David, Michael R. Krames, and Xiangyou Sharon Shen / Review of measures for light-source color rendition and considerations for a two-measure system for characterizing color rendition, Optics Express Vol. 21, Issue 8, pp. 10393-10411 (2013) <https://doi.org/10.1364/OE.21.010393>
3. [Tomi Pulli](#) ,[Timo Dönsberg](#),[Tuomas Poikonen](#),[Farshid Manoocheri](#),[Petri Kärhä](#)&[Erkki Ikonen](#) / Advantages of white LED lamps and new detector technology in photometry Light: Science & Applications (2015) 4, e332 (2015) doi:10.1038/lssa.2015.105 <https://www.nature.com/articles/lssa2015105>
4. Маркина О. Н. Исследование особенностей использования галогенных ламп JC в телевизионной измерительной системе [Текст] / О. Н. Маркина // Сборка в машиностроении, приборостроении, – 2015. – Вып. 5 (178). – С. 6-8.
5. [Markina O.N. Research of JC halogen lamps features of use in television measuring. Assembling in mechanical engineering, instrument-making. 2015, № 5 \(178\). - P. 6-8.](#)
6. Olga M. Markina, Maksym O. Markin, Maryna V. Filippova, Damian Harasim, Kanat Mussabekov, Azamat Annabayev, "The peculiarity of the construction of an optical-electronic system for measurement of geometrical parameters of objects in the micrometer range", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104456B (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2280987. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2280987>.

7. Электронный ресурс, режим доступа: <https://www.osvet.ru/blog/lighting-parametr/>
8. Электронный ресурс, режим доступа: <https://pokupayu.com/luksy-lumeny-kelviny-vatty-chto-eto/>
9. Электронный ресурс, режим доступа: <https://itw-systems.com/blog/svetovoj-potok-chto-eto-takoe/>
10. Электронный ресурс, режим доступа: <https://www.ess-ltd.ru/maintenance-repair/16/979/>
11. Каталог джерел випромінювання Электронный ресурс, режим доступа: <https://profsector.com/media/catalogs/57e10fd31c736.pdf>
12. О.В. Майорова, Е.Е. Майоров, Б.А. Туркбоев «Светотехника» Электронный ресурс, режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/26.pdf>
13. ГОСТ «Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров ГОСТ 17616 - 82 (СТ СВ 3180— 81). Электронный ресурс. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835183.pdf>
14. Газоразрядные лампы: Принцип устройства, особенности и характеристики. Электронный ресурс. Режим доступа: https://luxpro.ua/ua/articles/89-gazorazryadnye_lampi_printsip_ustroystva_osobennosti_i_harakteristiki
15. Каталог ламп Электронный ресурс. Режим доступа: <https://elektra.com.ua/images/katalogi/ISKRA-katalog-prodykcii.pdf>
16. И.Байнева, В.Байнев Математические и программные средства моделирования источников света. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.photonics.su/journal/article/3723>
17. Лавровский В.В., Муровский С.П. Анализ эффективности применения приборов освещения нового типа для экономии электроэнергии Электронный ресурс. Режим доступа: http://kafmen.ru/library/compilations/avasie/2011/3_1/p_382_385.pdf